위대한 김일성동지와 김정일동지는
영원히 우리와 함께 계신다

김일성종합대학학보

지구환경과학 및 지질학

제 65 권

JOURNAL OF KIM IL SUNG UNIVERSITY

Geoenvironmental Science and Geology

Vol. 65 No. 4



김일성종합대학출판사

4

주체108(2019)

김일성종합대학학보 주체108(2019)년 제65권 제4호
지구환경과학 및 지질학 (루계 제580호)

차 례

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

하상세로자름면형태를 결정하는 한가지 지형학적방법

리동식, 백은정

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《강하천관리사업을 잘하여야 큰물피해를 미리막고 토지와 도시, 마을, 공장을 비롯한 나라의 귀중한 재부들을 보호할수 있습니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제11권 38～39페지)

하상세로자름면형태에는 하상의 형성 및 변화동태가 반영되여있다. 하상세로자름면형태는 잘 알려진 표준적인 함수로 표현할수 있다.[1, 2]

론문에서는 상대하상세로자름면도의 작성과 상대하상세로자름면형태를 반영한 함수결정방법에 대하여 서술하였다.

1. 상대하상세로자름면도의 작성

하상들은 일반적으로 형성원인과 지역의 자연지리적조건이 서로 다르다. 이로부터 하상세로자름면형태도 각이하다. 이러한 하상세로자름면형태들을 서로 비교분석하기 위해서는 상대하상세로자름면도를 작성해야 한다.

상대하상세로자름면도의 작성방법은 다음과 같다.

먼저 DEM을 리용하여 발원지로부터 조사지점들까지의 실지 하상길이와 실지 해발높이를 측정한다.

다음 측정한 자료들을 리용하여 하상의 상대길이(L_i)와 상대높이(H_i)를 계산한다.

$$L_i = \frac{l_i}{L},\ \ H_i = \frac{h_i}{H}$$

여기서 L_i는 발원지로부터 i째 조사지점까지의 상대길이, l_i는 발원지로부터 i째 조사지점까지의 실지 하상길이, L은 발원지로부터 하구까지의 실지 하상길이, H_i는 i째 조사지점에서의 상대높이, h_i는 i째 조사지점에서의 실지 해발높이, H는 발원지의 해발높이이다.

끝으로 x축에는 L_i, y축에는 H_i를 대응시켜 상대하상세로자름면도를 작성한다.

2. 상대하상세로자름면형태를 반영한 함수결정

상대하상세로자름면형태는 선형함수($y = a + bx$), 지수함수($y = ae^{bx}$), 로그함수($y = a + b\ln x$), 제곱함수($y = ax^b$)로 표현할수 있다. 여기서 y는 하상의 상대높이, x는 하상의 상대길이, a와 b는 각각 상수이다.

표지역에서 하천급수가 각각 8급이고 하천길이가 266.1km, 발원지의 해발높이가 930m 차이나는 두 하상들의 상대하상세로자름면도에 기초하여 첫째 하상에서는 51개, 둘째 하상에서는 122개의 측정점을 선택하고 a, b, 오차의 2제곱합(r^2)을 계산하였다.(표)

표. ㅍ지역의 하상들에 대한 계산자료

하상번호	함수	a	b	r^2
1	선형함수	0.659	−0.845	0.846
	지수함수	1.100	−3.937	0.976
	로그함수	0.014	−0.258	0.960
	제곱함수	0.073	−0.949	0.688
2	선형함수	0.482	−0.859	0.625
	지수함수	0.547	−5.370	0.957
	로그함수	−0.052	−0.143	0.975
	제곱함수	0.035	−0.630	0.737

이때 r^2이 최소인 함수를 상대하상세로자름면형태에 가장 적합한 함수로 결정한다.

첫째 하상에서는 제곱함수의 r^2이 0.688로서 가장 작고 둘째 하상에서는 선형함수의 r^2이 0.625로서 가장 작다.

이로부터 첫째 하상의 상대세로자름면형태는 제곱함수($y = 0.073x^{-0.949}$), 둘째 하상의 상대세로자름면형태는 선형함수($y = 0.482 - 0.859x$)로 결정할수 있다.

맺 는 말

하상의 상대길이와 상대높이로부터 상대하상세로자름면도를 작성하며 오차의 2제곱합이 최소인 함수를 상대하상세로자름면형태에 가장 적합한 함수로 결정한다.

참 고 문 헌

[1] 김기근 등; 지형학, **김일성**종합대학출판사, 82～87, 주체103(2014).

[2] Maria Radoanc et al.; Geomorphology, 52, 293, 2005.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

A Geomorphological Method to Conduct the River Longitudinal Profile

Ri Tong Sik, *Paek Un Jong*

This paper described the methodologies to draw a diagram of the relative river longitudinal profile and to conduct the function with the relative river longitudinal profile.

Key words: relative river longitudinal profile

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

ㄹ지역에 분포된 현무암피복카르스트지형의 형성원인과 관광적가치

정영성, 정룡관

지난 시기 점토피복카르스트지형에 대해서는 많이 연구되였으나 현무암피복카르스트지형에 대해서는 전혀 연구되지 않았다.

론문에서는 ㄹ지역에 분포된 현무암피복카르스트지형의 형태적특징, 형성원인, 관광적가치에 대하여 서술하였다.

1. ㄹ지역에 분포된 현무암피복카르스트지형의 형태적특징과 형성원인

1) 형태적특징

ㄹ지역에 분포된 현무암피복카르스트지형은 와지이다.

세계적으로 알려진 카르스트와지는 카르스트암석이 용해되여 형성된 와지로서 주로 카르스트암석이 직접 로출되여있거나 카르스트점토가 피복된것이다.[1－3]

그러나 ㄹ지역에 분포된 카르스트와지는 고회암우에 현무암이 피복된 피복카르스트와지로서 지금까지 이러한 카르스트와지에 대하여서는 연구되지 않았다.

ㄹ지역에 분포된 카르스트와지는 모두 9개이며 1 300m－1 400m의 해발높이에 계단형식으로 분포되여있다. ㄹ지역에 분포된 카르스트와지의 형태는 표와 같다.

표. ㄹ지역에 분포된 카르스트와지의 형태

No.	해발높이/m	길이/m	너비/m	깊이/m	지표구성물질	비　고
1	1 300	30	20	4	점토	
2	1 320	20	15	3	현무암	
3	1 325	100	50	10	현무암	깊이가 2m인 호수가 있다.
4	1 330	40	20	5	점토	
5	1 345	10	5	2	현무암	
6	1 345	20	15	3	점토	
7	1 355	10	8	2	점토	
8	1 375	20	15	4	점토	
9	1 400	80	50	5	점토	

표에서 보는바와 같이 9개의 와지들가운데서 세번째 와지에만 호수가 있다. 이 와지의 바닥은 현무암으로 되여있으며 아름다운 경관을 이루고있다.

2) 형성원인

제4기 하갱신세에 분출한 현무암이 고회암우에 덮이고 그것이 동결풍화작용으로 파괴된 후 강수가 삼투되면서 고회암을 용해시켜 와지가 형성되였다. 그리고 현무암층이 내려앉아 와지에 현무암이 피복되였다.

와지결면에 점토가 있는것은 화학적풍화작용으로 형성된 점토가 씻겨내려가지 않고 남아있기때문이며 현무암이 로출된것은 화학적풍화물인 점토가 형성되는 즉시에 씻겨내려갔기때문이다.

2. ㄹ지역에 분포된 현무암피복카르스트지형의 관광적가치

① 관상적가치

산속에 호수가 있고 바위와 물, 수림이 한데 어울리는것으로 하여 이 현무암피복카르스트와지에 대한 관상적가치는 크다.

② 학술적가치

이 현무암피복카르스트와지는 현무암이 피복된 와지로서 세계적으로 보기 드문 카르스트지형체이다.

현무암이 피복된 후에 와지가 형성되는 과정은 아직까지 광범히 연구되지 못한 내용으로서 이 현무암피복카르스트와지에 대한 학술적가치는 크다.

③ 관광개발가치

ㄹ지역에 분포된 현무암피복카르스트와지의 규모는 크며 깊은 산중에 위치하고있는것으로 하여 주변의 환경조건도 대단히 좋다.

맺 는 말

ㄹ지역에 분포된 카르스트지형은 현무암이 피복된 후 그밑에 있던 고회암이 용식되면서 붕락되여 이루어진 현무암피복카르스트와지이며 관광적가치가 크다.

참 고 문 헌

[1] C. Mayaud; Journal of Hydrology, 511, 628, 2014.
[2] 李文兴; 岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统, 化学工业出版社, 9～20, 2006.
[3] 杨俊义; 四川地质学报, 9, 25, 2005.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Genesis of the Basalt Karst Suffossion Relief Distributed in "ㄹ" Region and Its Tourist Value

Jong Yong Song, Jong Ryong Gwan

In this paper, we clarify that the karst relief distributed in "ㄹ" region is the basalt covered karst polje and evaluate its tourist value.

Key words: karst suffossion, karst polje

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

림농복합경영구역에서의 사면휴경체계

류영철, 리동식

위대한 수령 **김일성**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《논밭의 지력을 높이는것은 알곡생산을 늘이는데서 중요한 의의를 가집니다.》(《**김일성**전집》 제77권 305페지)

림농복합경영방법은 지면류출과 토양침식작용이 강하게 진행되는 지역들에서 토양과 물을 보존하고 지력을 높이며 수림화를 다그치기 위한 새로운 경영방법이다.[1−3]

사면휴경체계는 사면토지구역에서 나무와 농작물을 시기적으로 결합시킨 하나의 림농체계이다. 림농복합경영구역에서의 사면휴경체계는 휴경식물재배, 농작물재배를 위한 토지준비, 농작물재배로 구성된다.(그림) 여기서 휴경식물은 휴경시기에 사면토지를 보호하고 지력을 높이기 위하여 심는 식물을 말한다. 실례로 싸리나무, 개암나무, 콩과식물 등을 들수 있다.

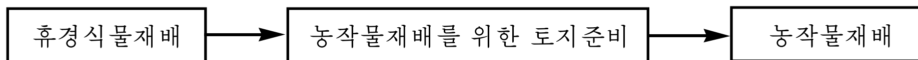


그림. 림농복합경영구역에서의 사면휴경체계

론문에서는 림농복합경영구역에서 지력을 높일수 있는 한가지 방법인 사면휴경체계에 대하여 서술하였다.

1. 휴경식물재배

휴경식물은 토지를 보호하고 지력을 높이며 적은 투자로 농사를 짓기 위하여 재배한다. 휴경식물종류의 선정과 재배기간은 해당 지역의 자연지리적조건 등을 고려하여 결정한다. 휴경식물의 하나인 싸리나무의 성장시기별생물량과 5년생 싸리나무의 영양원소함량은 표 1, 2와 같다.

표 1. 싸리나무의 성장시기별생물량(t/정보) [1]

구분	1년생	5년생	7년생	10년생
목질부	1～3	9～25	29～61	58～68
잎	1≥	3～5	4～6	6～9

표 2. 5년생 싸리나무의 영양원소함량(kg/정보) [1]

구분	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn
목질부	39～102	1.9～5.1	32～65	43～92	11～18	16	0.4～1.2
잎	58～63	2.3～3	19～36	27～34	10～15	14	0.3～0.7

휴경식물재배에서는 빨리 자라면서도 영양원소함량이 많이 포함된 휴경식물을 선정하는것이 중요하다. 이러한 휴경식물로는 대표적으로 콩과식물을 들수 있다.

2. 농작물재배를 위한 토지준비

농작물재배를 위한 토지준비에는 휴경식물을 불태운 다음 펴는 방법과 분쇄한 다음 펴는 방법이 있다.

① 휴경식물을 불태운 다음 펴는 방법

이 방법의 우점은 토지정리가 쉽고 채 타지 않은 목질부를 숯생산에 리용할수 있으며 태운 재에 의해 토양의 pH가 낮아지고 영양물질함량이 많아진다는것이다. 또한 휴경식물을 불태울 때 나오는 열에 의하여 풀씨뿐아니라 여러가지 해충과 균들이 사멸된다는것이다.

이 방법의 부족점은 불태울 때 휴경식물에 포함되여있던 많은 량의 영양성분들이 손실[1]되고 많은 량의 이산화탄소가 방출되며 돌이킬수 없는 화재사고를 발생시킬수 있다는것이다.

② 휴경식물을 분쇄한 다음 펴는 방법

이 방법은 우에서 서술한 방법의 부족점을 극복하고 농작물생육에 유리한 조건을 지어주며 생태환경적으로도 적합한 방법이다.

이 방법에서는 일정한 기간(일반적으로 3～5년) 휴경식물을 재배한 후 적당한 크기로 분쇄한 다음 골고루 편다.

이 방법의 우점은 농작물생육에 필요한 영양성분을 토양에 많이 보충하며 빛차단효과에 의하여 잡초가 적게 자라도록 한다는것이다. 또한 류출 및 비방울에 의한 토양침식으로부터 토지를 보호한다는것이다.

이 방법의 부족점은 휴경식물을 분쇄한 다음 골고루 펴는데 많은 로력이 드는것이다. 최근시기에 이 문제를 해결하기 위한 연구가 많이 진행되였으며 여러가지 기계로 이 작업을 하고있다.

3. 농작물재배

휴경식물을 분쇄한 다음 펴는 방법에서는 휴경식물이 토양속에서 부식되는 기간을 고려하여 농작물을 선택하고 비료주기를 비롯한 여러가지 영농방법을 적용해야 한다.

휴경식물재배기간에는 농업생산이 중지되지만 지력제고를 비롯한 농작물생육에 유리한 조건들이 마련된다.

맺 는 말

사면휴경체계를 합리적으로 받아들이기 위해서는 해당 지역의 자연지리적조건 등을 고려하여 휴경식물을 선정하여야 하며 휴경식물을 분쇄한 다음 펴는 방법을 널리 받아들이고 여러가지 기계로 이 작업을 하여야 한다.

또한 휴경식물이 토양속에서 부식되는 기간을 고려하여 농작물을 선택하고 비료주기를 비롯한 여러가지 영농방법을 적용해야 한다.

참 고 문 헌

[1] A. M. Gordon et al.; Agroforestry Systems, 61, 257, 2004.
[2] S. G. Pallardy et al.; Agroforestry Systems, 61, 237, 2004.
[3] J. S. Hall et al.; Forest Ecology and Management, 261, 1 553, 2011.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Slope Fallow System in the Agroforestry Complex Management Region

Ryu Yong Chol, *Ri Tong Sik*

The slope fallow system in the agroforestry complex management region is composed of the fallow plant growing, the land preparation for growing crop and the crop-growing.

Key words: agroforestry complex management, fallow system

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

지형의 형태적분류지표설정

신 정 심

지형분류는 지형에 대한 연구에서 선차적인 문제로 나선다. 현재 지형은 매우 복잡하고 다양하게 분류하고있으며 통일적인 기준이 없이 분류지표와 그 기준값들을 서로 다르게 리용하고있다.

론문에서는 지형의 형태적분류지표와 기준값설정에 대하여 서술하였다.

1. 지난 시기 지형의 형태적분류

지형의 형태적분류에서는 우선 산과 벌, 분지 등을 구분하며 다시 일정한 지표에 따라 고산, 중산, 저산, 야산(언덕), 고원, 저지 등으로 나눈다. 그러나 지형의 형태적류형과 분류지표, 지표별기준값들은 연구자들마다 각이하게 설정하고있다.(표 1)

표 1. 지형류형에 따르는 분류지표기준값실례[1-5]

지형류형	실례 1		실례 2	실례 3	
	해발높이/m	상대높이/m	해발높이/m	해발높이/m	상대높이/m
극고산	-	-	>5 000	>5 000	-
고산	>2 000	>1 200	3 000～5 000	3 500～5 000	>1 000 (평탄하지 않은 경우)
아고산	1 600～2 000	-	-	-	-
중산	800～2 000	>1 000	2 000～3 000	1 000～3 500	500～1 000 (평탄하지 않은 경우)
저산	200～800	>400	1 000～2 000	500～1 000	200～500
야산(언덕)	50～200	50～200	60～1 000	-	30～200
고원 (높은 평지)	>500	-	-	-	>500 (평탄한 경우)
고지 또는 대지 (중간평지)	200～500	-	-	-	-
저지 또는 벌 (낮은 평지)	<200	-	-	-	<30

또한 보다 낮은 급의 형태적분류에서는 경사도와 개석정도를 고려하고있다.

이와 같이 지형의 형태적분류지표들에는 해발높이, 상대높이, 개석심도, 개석밀도, 경사도, 지형요소 등이 있다.

현재 세계적으로 볼 때 산지분류의 형태적지표가운데서 해발높이를 기본분류지표로 하고 기타 지표들은 정성적으로 고려하여 산지지형을 형태적으로 분류하고있다.

그러나 고원과 대지, 벌까지 포함하여 지형을 형태적으로 분류할 때 해발높이만을 분류지표로 설정하면 여러가지 문제점들이 제기된다. 이로부터 해발높이뿐아니라 상대높이도 다같이 고려하여 지형을 형태적으로 분류하여야 한다.

2. 지형의 형태적분류지표설정과 기준값

1) 지형의 형태적분류지표설정

지형을 형태적으로 분류할 때에는 산과 벌에 대한 정의로부터 분류지표를 설정하여야 한다. 산은 일정한 높이를 가진 볼록지형체이다. 그리고 벌은 평탄하고 넓은 지대로서 상대높이가 200m이하이며 경사도가 5°이하이다. 이것을 고려하면 산지와 평지를 가르는 지표는 해발높이가 아니라 상대높이로 설정하여야 한다.

그리고 산지를 고산, 아고산, 중산, 저산, 야산(언덕)으로, 평지를 고원, 고지, 언덕벌, 평탄한 벌로 가르는 지표는 해발높이로 설정하여야 한다.(표 2) 이것은 상대높이는 지형발달단계와 침식정도 즉 외인작용세기를 반영하며 해발높이는 외인작용방식을 반영한다는데 기초하고있다.

2) 지형의 형태적분류지표별기준값

지형의 형태적분류지표별기준값을 결정하기 위하여 이미 알려진 37개 지역들에 표준지들을 설정하고 표준지에 따르는 상대높이와 해발높이를 계산하였다.(표 2)

표 2. 표준지에 따르는 상대높이와 해발높이

지형의 형태적류형	표준지	상대높이/m				해발높이/m			
		최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차
고산	백두산, 관모봉 등	18	1 272	565.83	114.44	785	2 726	1 883.29	246.31
아고산	소백산, 백산	308	915	547.29	84.15	658	2 050	1 444	222.31
중산	묘향산, 금강산 등	53	1 244	576.23	121.09	44	1 881	930.26	265.61
저산	구월산, 수양산, 칠보산 등	10	913	402.5	110.2	6	1 135	403.45	169.53
야산	룡악산, 금병산 등	16	413	140.17	64.78	3	411	73.85	50.24
고원	백두고원, 부전고원, 평서고원, 진안고원 등	16	613	225.51	63.32	253	1 646	1 023.88	89.43
대지	신계곡산벌, 평강철원고원	12	402	90.06	50.42	89	628	283.89	31.23
언덕벌	평양벌, 안양벌 등	9	577	233.52	97.67	1	660	131.59	93.83
평탄한 벌	열두삼천리벌, 전남벌, 호남벌 등	3	267	47.1	27.51	0	190	18.45	13.56

표 2를 분석하여 지형의 형태적분류지표별기준값을 표 3과 같이 결정하였다. 표 3에서 산지와 평지를 가르는 상대높이기준값을 200m로 설정한것은 200m를 기준으로 하여 산과 벌을 가르던 지난 시기 경험을 고려한것이며 고원과 대지, 언덕벌, 평탄한 벌에서 대체로 상대높이가 200m이하이기때문이다.

표 3에 기초하여 우리 나라 전체 지역에서 지형을 형태적으로 분류하고 그 결과(표 4)를 우리 나라의 산간지대면적비률(78.7%) 및 벌방지대면적비률(21.3%)과 비교하였다. 표 4에서 보면 산간지대는 75.38%이고 벌방지대는 24.62%이므로 정확히 분류되였다는것을 알 수 있다.

표 3. 지형의 형태적분류지표별기준값

1급류형	상대높이/m	2급류형	해발높이/m
산지	>200	고산	≥2 000
		아고산	1 600～2 000
		중산	800～1 600
		저산	200～800
		야산	≤200
평지	≤200	고원	≥500
		대지	200～500
	100～200	언덕벌	≤200
	≤100	평탄한 벌	

표 4. 우리 나라 지형의 형태적류형별면적비률

구분	지형의 형태적류형	면적비률/%
산간지대	고산	0.29
	아고산	2.13
	중산	15.58
	저산	37.98
	야산	11.49
	고원	1.29
	대지	6.62
벌방지대	언덕벌	12.79
	평탄한 벌	11.83

맺 는 말

지형의 형태적분류에서 산지와 평지를 분류할 때에는 상대높이를, 보다 낮은 급의 류형을 분류할 때에는 해발높이를 분류지표로 설정하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] 전창일 등; 지질 및 지리과학, 4, 32, 주체94(2005).
[2] 림영남 등; 지질 및 지리과학, 3, 38, 주체95(2006).
[3] O. D. Prima; Geomorphology, 78, 3, 373, 2006.
[4] 高玄彧 等; 世界科技研究发展, 28, 2, 79, 2006.
[5] 张伟 等; 地理与地理信息科学, 28, 4, 8, 2012.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Establishment of the Formal Relief Classification Indexes

Sin Jong Sim

In the formal classification of the relief, should be the relative height as indexes in classifying the mountains and plains, and should be considered the elevation in classifying the lower relief types.

Key words: relief classification, relative height

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

첨단기술산업의 지역적배치특징과 배치방법론에 대한 연구

김 영 남

선행연구[1, 2]에서는 첨단기술산업의 일반적인 특징과 그것의 배치형태에 대하여 많이 론의되였지만 전통산업과의 호상대비, 지역적배치의 견지에서 특징을 밝히지 못하였다.

론문에서는 첨단기술산업과 그것의 지역적배치특징을 새로 밝히고 그에 기초하여 배치방법론을 확립하는 문제에 대하여 서술하였다.

1. 첨단기술산업의 지역적배치특징

일반적으로 첨단기술산업은 다음과 같은 특징을 가진다고 볼수 있다.

첫째로, 첨단기술산업은 지식집약형산업이라는것이다.

첨단기술산업은 연구개발, 생산, 봉사활동이 과학기술적으로 일체화되여있고 산업발전에서 과학기술의 기여몫이 매우 큰 산업이다.

둘째로, 높은 발전속도와 높은 생산적리익을 가진 산업이라는것이다.

첨단기술산업은 과학기술발전추세에 따라 연구개발과 제품의 생산주기가 빠르며 투자에 대한 효과가 매우 높다.

셋째로, 경제발전에서 주도적인 작용을 한다는것이다.

첨단기술산업은 그자체가 가장 발전되고 현대화된 산업부문일뿐아니라 다른 경제부문들에 적극 침투하여 그것의 발전을 추동한다.

넷째로, 다른 산업들에 비해 특수한 연구 및 생산환경을 요구한다는것이다.

첨단기술산업은 다른 산업들에 비하여 깨끗하고 조용하면서도 질적수준이 높은 여러가지 기술시설을 요구한다.

이밖에도 그 특징은 매개 나라의 현실과 함께 세계적범위에서 경쟁적으로 진행되는 첨단기술개발과의 밀접한 관계속에서 발전하는 산업이라는것이다.

첨단기술산업의 특징으로부터 첨단기술산업의 지역적배치도 전통적인 산업배치와 구별되는 특징을 가지고있다.

전통적인 배치와의 대비속에 고찰한 첨단기술산업의 지역적배치는 다음과 같은 특징을 가진다고 볼수 있다.

첫째로, 첨단기술산업배치의 기본요구와 조건에서 전통적인 배치와 구별된다.

전통적인 산업배치에서는 여러가지 원료 및 연료자원, 부지자원, 물자원 그리고 기술시설에 대한 량적요구와 보장조건, 수요지와의 련계 등과 같은 인자들이 배치의 기본조건으로 되고있지만 첨단기술산업배치에서는 지적자원의 보장, 첨단기술의 제품실현조건으로서 생산 및 봉사조건인자가 기본으로 되고있다.

둘째로, 첨단기술산업의 지역적배치는 공업의 일반적인 지역적배치와 구별된다.

우선 지역적배치형태들의 구성에서 다르다.

공업의 일반적인 지역적배치형태는 공업점, 공업구역, 공업도시, 공업지구, 공업지대 등으로 구성되며 그것은 주로 공업부문들의 지역적결합구조와 령역규모에 따라 구별된다.

그러나 첨단기술산업의 지역적배치형태는 과학지구, 과학도시, 기술도시, 첨단제품가공구, 첨단기술산업지대 등으로 구성되며 그것은 주로 기능구역들의 구성과 비중, 결합관계, 규모에 따라 구별된다.

다음으로 지역적배치형태의 형성방식에서도 구별된다.

공업의 일반적인 지역적배치형태는 부문내부, 부문간 지역적생산순환의 조직과 결합완성에 의하여 형성발전하지만 첨단기술산업지구는 연구개발－제품생산－봉사－생활구역들의 결합관계에 의하여 형성발전한다.

셋째로, 일정한 공간적배치형태를 가진다.

첨단기술산업지구는 기본적으로 도시를 중심으로 하여 도시내부, 도시주변, 도시와 분리되여 배치되는 세가지 형태로 배치된다. 그것은 첨단기술산업의 발전이 도시의 발전, 지적자원의 보장과 밀접히 련관되여있기때문이다.

도시를 중심으로 하여 이루어지는 공간적배치형태는 첨단기술산업지구배치에서만 론의되는 특징적인 배치형식으로서 일반적으로 공업배치에서는 론의되지 않는 문제이다. 때문에 첨단기술산업의 지역적배치는 그것의 특징을 반영한 새로운 방법론에 의하여 진행하여야 한다.

2. 첨단기술산업의 지역적배치방법론

산업배치의 일반적요구와 첨단기술산업배치의 특징에 맞게 첨단기술산업의 지역적배치를 진행해나가자면 어떠한 산업을 어떠한 배치형태로 어느 위치에 배치하겠는가 하는 문제를 해결하여야 한다. 즉 첨단기술산업의 지역적배치에서는 나라와 지역에서 배치하여야 할 첨단기술산업부문을 바로 선정하는 문제, 첨단기술산업의 지역적배치형태를 확정하는 문제, 첨단기술산업지구의 공간적배치형태와 그 위치를 합리적으로 선정하는 문제를 과학적으로 해결하여야 한다.

첨단기술산업의 지역적배치에서 중요하게 나서는 문제들은 다음과 같다.

① 첨단기술산업부문의 선정문제이다.

첨단기술산업부문의 선정문제는 첨단기술산업이 전반적인 경제발전에서 차지하는 지위와 역할 그리고 그 발전전망으로부터 제기되는 실천적인 문제로서 첨단기술산업의 지역적배치문제에서는 선차적으로 해결하여야 할 문제이다.

전반적인 경제발전, 산업발전에서 주도적인 역할을 하는 첨단산업부문을 어떠한 부문으로 선정하는가 하는것은 나라와 지역의 지속적인 발전과도 관계되는 중요한 문제이다.

② 첨단기술산업의 지역적배치형태와 첨단기술산업지구의 공간적배치형태를 과학리론적으로 옳게 확정하는 문제이다. 이것은 첨단기술산업배치에서 새롭게 제기되는 특징적인 문제이다.

첨단기술산업은 실제상 일정한 지역적 및 공간적배치형태로 배치되는 조건에서 그

배치형태들을 확정하는데서 제기되는 여러가지 문제들을 체계화하고 특징을 밝혀 원리적으로 풀어나가는것이 중요하다. 그렇게 함으로써 나라와 지역에서 자체의 현실적조건에 맞는 지역적배치형태와 공간적배치형태를 적용하여 첨단기술산업의 배치를 합리적으로 해나갈수 있다.

③ 첨단기술산업지구의 위치를 합리적으로 선정하여야 한다.

국토계획작성의 견지에서 생산력배치는 전국적인 체계와 일정한 지역적단위에 따르는 체계로 구성되며 최종적으로 배치대상들의 위치와 규모를 선정하는것으로 결속된다.

또한 우에서 제기한 중심적인 문제들을 원리적으로 볼 때 먼저 첨단기술산업부문을 선정하여야 그에 기초하여 첨단기술산업의 지역적배치형태를 선정할수 있으며 첨단기술산업배치의 지역적배치형태가 규정된 조건에서 첨단기술산업지구의 공간적배치형태를 선정할수 있다.

맺 는 말

첨단기술산업의 지역적배치특징과 배치방법론에 대한 연구는 첨단기술산업배치를 과학적으로 우리 나라의 실정에 맞게 합리적으로 진행해나가는데서 중요한 실천적의의를 가진다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학), 61, 4, 125, 주체104(2015).
[2] 宋拾平; 经济研究导干刊, 22, 177, 2010.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Regionally Allocative Characteristics and A Methodology of Advanced Technological Industy

Kim Yong Nam

In this paper, I newly made clear the characteristics of the advanced industry and its regional allocation, and based on it, considered the methodology of regional allocations of the advanced technological industry.

Key words: advanced technological industry, pattern of regional allocations, industrial allocation

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

국토계획작성에서 경제개발구의 합리적인 위치선정방법

리승호, 리영성

경애하는 최고령도자 **김정은**동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《새 세기 산업혁명의 불길을 세차게 지펴올려 과학기술의 힘으로 경제강국건설의 전환적국면을 열어놓아야 하겠습니다.》

경제개발구배치에서 중요하게 나서는 원칙적문제는 위치와 규모, 기술산업의 부문구조, 공간구성을 합리적으로 결정하는것이다. 특히 위치선정에 영향을 주는 배치조건과 평가방법을 정확히 밝히는것이 중요한 문제로 나선다.

선행연구[1, 2, 3]들에서는 주로 토지리용과 경제지리적위치의 유리성견지에서 경제개발구의 위치를 평가하였다.

론문에서는 경제개발구의 배치에 영향을 주는 모든 조건들을 종합분석하여 부문층과 세부조건층으로 체계화하고 매 배치조건들의 무게를 고려하여 합리적인 경제개발구위치를 평가하기 위한 방법을 제기하고 대상지역에 적용한 결과를 주었다.

1. 경제개발구의 위치선정방법

우선 경제개발구의 합리적인 위치선정을 위한 조건지표들을 선택한다.

경제개발구배치의 일반적조건에 근거하여 그 배치특성에 따르는 합리적인 위치선정을 위한 조건지표들은 표 1과 같다.

표 1. 경제개발구배치를 위한 합리적인 위치선정조건지표

부문층	세부조건층
기술시설조건	전력보장조건 용수보장조건 교통운수보장조건 정보통신보장조건 토지정리조건 건물이설조건 주민지건설조건 부지확장조건
로력보장조건	인적자원보장조건 지적자원보장조건 출퇴근보장조건
주변경제에 미치는 영향	주변지구의 산업구조에 미치는 영향 주변지구의 과학기술과 생산발전에 미치는 영향 개발지와 인민경제의 호상작용관계
환경조건	지역의 풍치, 록화, 화초조성상태 지구내 유해, 오염실태 주변으로부터 오염영향정도

표 1에서 보는바와 같이 경제개발구배치를 위한 합리적인 위치선정조건지표는 크게 4개의 기본지표, 그에 따르는 17개의 보조지표들로 구분할수 있으며 이외에도 해당 지구의 특성에 따라 지표들을 세분화할수 있다.

다음 속성계층모형(AHM)을 리용하여 경제개발구의 합리적인 위치를 선정한다.

AHM은 비구조화결심채택문제를 해결하기 위한것으로서 3단계(계단계층구조의 작성, 판단행렬구성과 상대무게값계산, 체계목표에 대한 계산방안들의 무게값합성 및 결심채택진행)로 구성한다.

AHM에서 속성판단행렬 $\{\mu_{ij}\}_{n\times n}$의 원소는 a_{ij}로부터 전환되여 계산된다. 다시말하여 AHP에서 얻은 비교판단행렬을 $\{a_{ij}\}_{n\times n}$이라고 하면 AHM에서 속성판단행렬 $\{\mu_{ij}\}_{n\times n}$의 원소는 a_{ij}로부터 전환되여 계산된다.

그 전환공식은 다음과 같다.

$$\mu_{ij}=\begin{cases}\dfrac{\beta k}{\beta k+1}, & a_{ij}=k\\ 0.5, & k=1,\ i\neq j\\ \dfrac{1}{\beta k+1}, & a_{ij}=\dfrac{1}{k}\end{cases}$$

웃식에서 k는 2보다 큰 옹근수이며 $\beta\geq1$이다. 흔히 $\beta=1$ 혹은 2값을 취한다.

일정한 지역에서 배치조건들의 무게나 배치방안들의 순위를 결정하는 계산알고리듬을 다음과 같이 작성할수 있다.

① 계층구조를 작성한다.

계층구조는 여러개의 층으로 할수 있는데 보통 3개 층으로 구성하고 제일 웃층을 목표층, 중간층을 조건층, 제일 낮은층을 방안층 혹은 지표층으로 하여 구성한다.

② 판단행렬을 구성하고 속성판단행렬 $\{\mu_{ij}\}_{n\times n}$을 구한다. 이때 $\beta=1$로 한다.

③ 상대속성무게값을 계산한다.

$$Wc_i=\frac{2}{n(n-1)}\sum_{j=1}^{n}\mu_{ij}$$

④ 방안층의 목표층에 대한 합성무게를 계산한다.

$$W_{GC}=(W_{C_1},\ W_{C_2},\ \cdots,\ W_{C_n})\cdot W_G$$

여기서 W_G는 목표층에 대한 조건층의 무게, W_C는 조건층에 대한 방안층의 무게, W_{GC}는 목표층에 대한 방안층의 합성무게이다. 합성무게를 계산한데 기초하여 결심채택을 진행한다.

즉 W_{GC}의 값에 따라서 방안들의 순위를 결정하고 제일 큰것이 그중 적합한 방안이다. 다시말하여 해당 지역에서 주어진 배치조건에 가장 적합한 방안들의 순위에 따라 합리적인 위치를 선정할수 있다.

2. ㅎ지구에서 경제개발구의 위치선정

ㅎ지구는 화학공업과 기계공업이 발전된 지역으로서 여기에는 많은 과학연구기지들이 집중되여있고 여러 공장들에서 일하는 기술자, 전문가 등의 과학기술력량이 충분히 마련되

여있다.

그리고 ㅎ지구는 바다를 끼고있어 유리한 해상운수조건을 가지고있으며 내륙교통운수에 유리한 지점에 위치하고있다. 이러한 유리한 자연 및 경제지리적조건으로부터 ㅎ지구에 경제개발구를 창설하고 발전시키는것은 매우 합리적이라고 볼수 있다.

ㅎ지구에서 경제개발구를 선정하기 위하여 ㅎ지구의 현존 공업부문들의 발전전망을 과학적으로 타산한데 기초하여 경제개발구배치조건에 유리한 예비방안을 3개 지점으로 선정한다.

경제개발구로 선정된 예비방안은 다음과 같다.

1방안(C1)은 ㅎ지구 바다가해안연선일대, 2방안(C2)은 ㅎ지구 전기기구공장부근일대, 3방안(C3)은 ㅇ군 장흥리 소재지앞 벌지대이다.

우선 위치선정지표를 확정하고 기초자료를 작성한다.(표 2)

표 2. ㅎ지구에서 경제개발구배치를 위한 기초자료

기본지표	세부지표	방안		
		1방안(C1)	2방안(C2)	3방안(C3)
기술시설 조건(B1)	전력보장조건(B11)	매우 좋다.	보통이다.	나쁘다.
	용수보장조건(B12)	매우 좋다.	좋다.	좋다.
	교통운수조건(B13)	매우 좋다.	좋다.	보통이다.
	정보통신보장조건(B14)	좋다.	매우 좋다.	보통이다.
	토지정리조건(B15)	좋다.	매우 나쁘다.	좋다.
	건물이설조건(B16)	많다.	매우 많다.	없다.
	주민지건설조건(B17)	좋다.	나쁘다.	좋다.
	부지확장예비지조건(B18)	매우 좋다.	나쁘다.	보통이다.
로력보장 조건(B2)	인적자원보장조건(B21)	매우 좋다.	매우 좋다.	나쁘다.
	지적자원보장가능성조건(B22)	좋다.	매우 좋다.	나쁘다.
	출퇴근보장조건(B23)	좋다.	매우 좋다.	보통이다.
주변경제에 미치는 영향(B3)	주변지구의 산업구조에 주는 영향(B31)	매우 좋다.	보통이다.	나쁘다.
	주변지구의 과학기술과 생산발전에 주는 영향(B32)	매우 좋다.	좋다.	보통이다.
	개발지와 인민경제와의 호상작용관계(B33)	좋다.	매우 좋다.	보통이다.
환경조건 (B4)	지역의 풍치, 록화, 화원조성상태(B41)	매우 좋다.	보통이다.	보통이다.
	지구내 유해, 오염실태(B42)	없다.	보통이다.	없다.
	주변으로부터 오염영향관계(B43)	조금 있다.	보통이다.	없다.

우의 기본조건지표들과 보조에 관하여 AHP로 판단행렬을 작성하고 그것을 전환하여 속성판단행렬 $\{\mu_{ij}\}_{n\times n}$을 작성한다.(표 3)

표 3. 기본지표들에 대한 속성판단행렬

조건	B1	B2	B3	B4	W_G
B1	0	0.875 0	0.888 8	0.9	0.443 9
B2	0.125	0	0.666 6	0.75	0.256 9
B3	0.111	0.333 3	0	0.666 0	0.185 1
B4	0.1	0.25	0.333 3	0	0.113 8

보조조건지표들에 관하여 AHP로 판단행렬을 작성하고 그것을 전환하여 속성판단행렬 $\{\mu_{ij}\}_{n\times n}$을 작성하였으며 그 결과를 표 4－7에 제시하였다.

표 4. 기술시설조건지표들에 대한 속성판단행렬

조건	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	W_G
B11	0	0.8	0.666 6	0.888 8	0.75	0.833 3	0.875	0.857 1	0.202 5
B12	0.2	0	0.25	0.8	0.333 4	0.666 6	0.8	0.75	0.135 7
B13	0.333 4	0.75	0	0.857 1	0.666 6	0.8	0.837 1	0.833 3	0.182 0
B14	0.111 2	0.2	0.142 9	0	0.166 7	0.2	0.333 4	0.25	0.050 2
B15	0.25	0.666 6	0.333 4	0.833 3	0	0.75	0.833 3	0.8	0.159 5
B16	0.166 7	0.333 4	0.2	0.8	0.25	0	0.75	0.666 6	0.113 1
B17	0.125	0.25	0.142 9	0.666 6	0.166 7	0.25	0	0.333 4	0.067 3
B18	0.142 9	0.25	0.166 7	0.75	0.2	0.333 4	0.666 6	0	0.089 6

표 5. 로력보장조건지표들에 대한 속성판단행렬

조건	B21	B22	B23	W_G
B21	0	0.333 4	0.666 6	0.333 3
B22	0.666 6	0	0.75	0.472 2
B23	0.333 4	0.25	0	0.194 5

표 6. 주변경제에 미치는 영향조건지표들에 대한 속성판단행렬

조건	B31	B32	B33	W_G
B31	0	0.25	0.333 4	0.194 5
B32	0.75	0	0.666 6	0.472 2
B33	0.666 6	0.333 4	0	0.333 3

표 7. 환경조건지표들에 대한 속성판단행렬

조건	B41	B42	B43	W_G
B41	0	0.25	0.333 4	0.194 5
B42	0.75	0	0.666 6	0.472 2
B43	0.666 6	0.333 4	0	0.333 3

방안들에 따르는 매 보조조건지표들에 관하여 AHP로 판단행렬을 작성하고 그것을 전환하여 속성판단행렬 $\{\mu_{ij}\}_{n\times n}$을 작성한다.

이러한 자료들에 기초하여 목표에 대한 부문들의 합성무게를 계산한다.

$$(W_{C_1}\ \ W_{C_2}\ \cdots\ W_{C_n})=$$

$$\begin{pmatrix} 0.569 & 0.569 & 0.528 & 0.333 & 0.458 & \cdots & 0.555 & 0.417 & 0.138 \\ 0.306 & 0.125 & 0.333 & 0.528 & 0.083 & \cdots & 0.222 & 0.167 & 0.333 \\ 0.125 & 0.097 & 0.138 & 0.138 & 0.458 & \cdots & 0.222 & 0.417 & 0.528 \end{pmatrix}$$

$$W_G=(0.089\ 9\ \ 0.060\ 2\ \ 0.080\ 8\ \ 0.022\ 3\ \cdots\ 0.022\ 1\ \ 0.053\ 7\ \ 0.016\ 3)^{\mathrm{T}}$$

$$W_{GC}=(0.434\ 8\ \ 0.333\ 5\ \ 0.231\ 6)^{\mathrm{T}}$$

보는바와 같이 1방안의 무게는 0.434 8, 2방안의 무게는 0.333 5, 3방안의 무게는 0.231 6이다.

따라서 ㅎ지구에서 경제개발구배치에 적합한 방안으로서는 1방안을 선정할수 있다.

맺 는 말

속성계층모형은 AHP에 비해 계산이 간단하며 결과에 대한 해석이 편리하므로 국토건설대상들의 배치에서 무게계산과 대상들의 비교평가에 널리 리용할수 있다.

참 고 문 헌

[1] R. Danania et al.; Journal of Economic Behavior & Organization, 41, 43, 2000.
[2] 周德群; 系统工程概论, 科学出版社, 218～232, 2010.
[3] 哈斯巴根; 基于空间功能的区域整体发展综合评价, 科学出版社, 20～30, 2012.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

A Method of Rational Situation Determination of Economic Development Area in Making of National Land Plan

Ri Sung Ho, Ri Yong Song

We have described a method of determining the location of an economic development area by sel ecting indicators for comprehensive location based on the general condition for it, and by choosing a ra tional alternative.

Key words: national land plan, economic development area, situation determination

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

산림조성에서 최적수종선정의 한가지 방법과 그 적용

원석철, 강철경

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《산림조성사업을 해당 지역의 기후와 토양조건을 구체적으로 조사분석한데 기초하여 지대별, 필지별특성과 나무의 생물학적특성에 맞게 하여야 하겠습니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제11권 35폐지)

산림조성사업에서 적지적수의 원칙을 철저히 지키는것 즉 해당 지역의 자연지리적조건과 경영목적에 맞는 적합한 수종을 선택하는것이 중요하다.

지금까지 산림조성을 위한 최적수종선정에서는 통계적방법, 예측모의방법, GIS분석방법[1－4] 등이 리용되여왔는데 이러한 방법들은 지역의 생태조건과 나무의 생육조건을 반영하는 몇가지 지표들에 기초한것으로 하여 일정한 제한성을 가지고있다.

론문에서는 산림조성에서 지역의 기후풍토조건과 함께 사회경제적요인들도 고려하여 최적수종을 선정하기 위한 방법에 대하여 고찰하였다.

1. 산림의 최적수종선정방법

최적수종선정에서 나서는 중요한 문제는 대상지역의 기후풍토조건과 지역내 산림의 경영목적, 지역의 산림에 대한 수요이다. 다시말하여 선정되는 수종은 지역의 기후와 토양조건에도 맞고 산림경영의 목적에도 부합되며 지역의 경제발전과 인민생활향상에 필요한 수종이여야 한다.

산림조성에서 최적수종선정을 위한 원칙은 다음과 같다.

① 해당 지역의 기후조건에서 자랄수 있는 수종들을 선택하여야 한다.

② 해당 지역내의 구체적인 산림조성대상지의 지형조건과 토양조건에서 잘 자랄수 있는 수종들을 선택하여야 한다.

③ 해당 산림조성대상지에서 잘 자랄수 있는 수종들가운데서 지역의 인민경제적수요를 최대로 보장할수 있는 수종을 선택하여야 한다.

최적수종선정원칙에 준하여 최적수종선정을 위한 공정과 그 방법은 다음과 같다.

① 지역의 기후조건에 적합한 수종들을 선별한다.

산림분포의 지대성과 산림의 발전과정을 보면 산림생육에 가장 중요한 조건은 빛조건이다. 산림의 수직 및 수평적분포도 이러한 기후조건의 차이에 의하여 이루어진다. 이로부터 최적수종선정에서는 먼저 지역의 온열조건을 고려하여 수종들을 분류하여야 한다. 여기서는 온열조건을 대표하여 5℃적산온도를 리용할수 있다.

평가는 지역의 온열조건과 나무의 생육적산온도(5℃적산온도)를 비교하는 방법으로 진행한다.

먼저 나무의 배치가능적산온도와 대상지역의 적산온도를 비교하여 수종을 선별한다.

$$R(T)=\begin{cases}1, & T_{\min}<T\le T_{\max}\\ 0, & T_{\max}<T,\ T<T_{\min}\end{cases} \tag{1}$$

여기서 R는 판별함수, $T_{\max}$는 나무의 배치가능적산온도 웃한계값(℃), $T_{\min}$은 나무의 배치가능적산온도 아래한계값(℃), T는 대상지역의 적산온도(℃)이다.

판별함수는 선택조건을 만족시키면 1, 그렇지 않으면 0을 가지는 함수이다.

② 선별된 수종들중에서 주요생육지표들에 대한 종합평가를 통하여 적합한 수종들을 선택한다. 여기서는 류사성지수에 의한 최적수종선정방법을 리용한다.

이 방법은 나무의 생육최적조건과 해당 지역의 생태조건을 비교하여 가장 근사한 수종을 선택하는 방법인데 그 계산식은 다음과 같다.

$$d=\left[\frac{1}{n^2}\sum_{i=1}^{n}k_i^2(p_i-q_i)^2\right]^{1/2}\to\min \tag{2}$$

여기서 d는 평가대상(소반)의 생태조건과 나무의 생육최적조건의 류사성지수, p_i는 평가대상(소반)의 i생태조건자료의 표준화값, q_i는 나무의 i생육지표의 최적조건의 표준화값인데 $p_i(q_i)=x_i/\max\{x_i\}$(x_i는 i생태조건(생육조건)지표값, $\max\{x_i\}$는 i생태조건(생육조건)지표값들중 최대값), k_i는 i생태조건지표의 무게값이다.

현실에서는 기후조건에 의하여 선별된 모든 수종들을 다 평가하여 류사성지수값이 작은 순서로 배렬하고 정성적방법으로 일정한 순서의 나무까지 선택하기도 한다.

③ 선택된 수종들가운데서 지역산림의 경영목적과 경제적수요를 고려하여 적합한 수종을 최종적으로 선정한다.

만일 해당 지역의 산림이 Ⅲ부류 산림인 경우 경영목적이 목재림인가, 기름나무림인가 등에 따라 수종을 선정하며 여기서도 목재림인 경우 해당 지역의 목재수요가 갱목인가, 특수목재인가에 따라 수종을 달리 선정한다.

2. ㄴ지역에서 산림의 최적수종선정

연구지역의 자연지리적조건과 산림상태는 다음과 같다.

자연지리적조건은 해발 1 000m이하의 높고낮은 산들과 구릉이 대부분을 이루고있다. 년평균기온은 10.9℃, 5℃적산온도는 3 135℃, 년평균강수량은 973mm이다. 대상지역의 산림은 모두가 Ⅲ부류산림으로서 일반목재림, 기름나무림, 갱목림, 땔나무림이 기본을 이루고있다.(표 1)

표 1. 경영목적별산림면적(정보)

일반목재림	기름나무림	갱목림	땔나무림	계
655	216	55	102	1 028

대상지역에서 산림생산물에 대한 수요정도를 보면 목재는 전문적인 목재가공공장이 없는 조건에서 개별적인 단위들에서의 건설과 관련한 수요가 기본으로 되고있으나 앞으로 지역에 전문적인 목재가공공장이 계획되여있는 조건에서 생산에 필요한 목재와 제기되는 기타 목재수요를 자체로 보장할수 있는 능력을 조성하여야 한다. 기타 기름나무림과 갱목림, 땔나무림은 대상지역의 지방공업원료, 자재보장과 농촌주민들의 땔나무보장을 위하여 경영

되고있다. 현재 기본수종을 보면 목재림은 세잎소나무와 이깔나무, 기름나무림은 잣나무, 갱목림은 소나무와 참나무, 땔나무림은 아카시아나무와 기타 잡관목들로 구성되여있다.

이에 기초하여 최적수종을 선정한다.

먼저 대상지역의 온열조건을 고려하여 선택할수 있는 수종들을 식 (1)을 리용하여 선별한다. 선별된 수종들의 5℃적산온도구간은 표 2와 같다.

표 2. 선별된 수종들의 5℃적산온도구간(℃)

No.	수종명	아래한계	웃한계	No.	수종명	아래한계	웃한계
1	창성이깔나무	1 389	4 212	5	잣나무	1 357	4 321
2	이깔나무	778	3 913	6	아카시아나무	2 800	5 008
3	세잎소나무	3 439	6 041	7	오리나무	2 420	4 049
4	소나무	1 767	4 303	8	황철나무	1 245	3 217

다음으로 선별된 수종들중에서 대상지역의 생태조건에 류사한 수종들을 식 (2)를 리용하여 선택한다. 계산에 리용된 수종들의 생육조건과 대상지역의 생태조건자료, 생태조건지표의 무게값은 표 3－5와 같다.

표 3. 몇가지 수종들의 생육조건자료

No.	수종명	5℃적산온도최적한계/℃			해발높이/m	빛조건	토양습도	토양종류
		아래한계	웃한계	평균값				
1	창성이깔나무	2 100	3 500	2 800	1 000>	1	2	3
2	이깔나무	1 600	3 100	2 350	300～2 300	1	2	3
3	세잎소나무	4 100	5 400	4 750	600>	1～3	1～3	1～5
4	소나무	2 400	3 700	3 050	800>	1	2	1～5
5	잣나무	2 000	3 500	2 750	1 600>	3	2	1～5
6	아카시아나무	3 300	4 500	3 900	700>	2	2	4
7	오리나무	2 800	3 600	3 200	500>	2	1	4
8	황철나무	2 200	2 900	2 550	700～1 000	2	3	4

표 4. 대상지역의 생태조건자료

림소반	5℃적산온도	해발높이	빛조건	토양습도	토양종류
12/1	3 135	828	1	3	3
12/2	3 135	644	1	2	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21/3	3 135	990	2	2	3
21/4	3 135	900	3	1	4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

표 3, 4에서 정성적지표들에 대하여 정량화한다. 즉 빛조건: 양지=1, 중간=2, 음지=3, 토양습도: 건조=1, 적습=2, 습윤=3, 토양종류: 질흙=1, 질메흙=2, 메흙=3, 모래메흙=4, 모래흙=5와 같은 정량화를 진행한다. 그리고 $p_i=x_i/\max\{x_i\}$에 의하여 표준화한다.(표 6, 7)

표 5. 생태조건지표의 무게값

지표명	5℃적산온도	해발높이	빛조건	토양습도	토양종류
무게값	0.3	0.15	0.25	0.15	0.15

표 6. 수종별생육조건의 표준화자료

No.	수종명	5℃적산온도	해발높이	빛조건	토양습도	토양종류
1	창성이깔나무	0.58	0.43	0.33	0.66	0.6
2	이깔나무	0.49	1	0.33	0.66	0.6
3	세잎소나무	1	0.26	*	*	*
4	소나무	0.64	0.34	0.33	0.66	*
5	잣나무	0.57	0.69	1	0.66	*
6	아카시아나무	0.82	0.3	0.66	0.33	0.8
7	오리나무	0.67	0.22	0.66	0.33	0.8
8	황철나무	0.53	0.43	0.66	1	0.8

표 7. 대상지역의 생태조건표준화자료

림소반	5℃적산온도	해발높이	빛조건	토양습도	토양종류
12/1(목재림)	0.66	0.36	0.33	1	0.66
12/2(목재림)	0.66	0.28	0.33	0.66	0.66
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21/3(기름나무림)	0.66	0.43	0.66	0.66	0.66
21/4(기름나무림)	0.66	0.39	1	0.33	0.8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

12/1, 12/2, 21/3, 21/4소반들에 대한 류사성지수의 계산결과는 표 8과 같다.

표 8. 소반별류사성지수

림소반	창성이깔나무	이깔나무	아카시아나무	세잎소나무	소나무	잣나무	오리나무	황철나무
12/1	0.011	0.023 8	0.028 4	0.020 6	0.01	0.036 5	0.027	0.019 3
12/2	0.006 2	0.023 7	0.022 5	0.022 7	0.002 3	0.035 9	0.020 4	0.022 1
21/3	0.017 1	0.025 8	0.015 6	0.028 6	0.016 8	0.013 8	0.013 3	0.019
21/4	0.035 5	0.040 9	0.019 4	0.044 4	0.035 3	0.015 5	0.017 4	0.027

표 8에서 보는바와 같이 12/1소반에서는 창성이깔나무, 소나무, 황철나무, 12/2소반에서는 소나무, 창성이깔나무, 오리나무, 21/3소반과 21/4소반에서는 오리나무, 잣나무, 아카시아나무순서로 평가되였다.

이로부터 소반별산림의 경영목적과 산림에 대한 경제적수요를 고려하여 적합한 수종을 선정하면 12/1, 12/2소반들은 경영목적이 목재림이므로 창성이깔나무, 21/3, 21/4소반들은 경영목적이 기름나무림이므로 잣나무를 선택할수 있다.

현재의 수종배치실태와 비교해볼 때 21/3, 21/4소반들은 잣나무가 배치되여있으므로 적지적수의 조건이 보장되였다고 볼수 있다. 그러나 12/1, 12/2소반들은 현재 세잎소나무와 이깔나무혼성림이므로 효과성의 측면에서 최적수종으로 선정된 창성이깔나무와 비교해보아야 한다.

이를 위하여 12/1, 12/2소반들에서 창성이깔나무와 이깔나무의 생산성을 림위급에 의한 방법으로 평가하였다.

해당 년도의 전국산림조사자료에 의하면 대상소반들은 창성이깔나무와 이깔나무에 대하여 림위Ⅲ급에 속한다. 평가기한을 20년으로 보면 대상소반들에서 정보당 축적이 창성이깔나무는 73m^3에 도달하지만 이깔나무는 58m^3정도에 이른다. 이로부터 대상지역에서는 목재림의 수종을 점차 창성이깔나무를 기본으로 개조하여야 한다.

맺 는 말

우리가 확정한 방법은 산림조성대상지에 적합한 수종을 선정하는 경우와 해당한 수종의 조성적지를 찾는 경우에 모두 적용할수 있다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학) 53, 5, 175, 주체96(2007).
[2] **김일성**종합대학학보(자연과학), 59, 8, 125, 주체102(2013).
[3] 석준 등; 지질 및 지리과학, 2, 42, 주체101(2012).
[4] 한영수; 자연보호, 14, 1, 7, 주체107(2018).

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

A Method and Application of Determination of Optimal Trees for Afforestation

Won Sok Chol, Kang Chol Gyong

In this paper we suggested process of determination of optimal trees and studied assessing method in according to each process. This method is one that determines the optimal trees in regard to climatic and soil conditions, conditions of growth of trees and of regional socio-economic factors.

Key words: afforestation, proper tree on proper land, tree selection

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

산불방지를 위한 연료파괴선의 구축방법

김명심, 리철명

산불방지대책을 철저히 세우는것은 온 나라를 울창한 수림으로 뒤덮이게 함으로써 우리 나라를 아름다운 인민의 락원으로 만들기 위한 중요한 사업이다.

산불을 방지하기 위하여 연료파괴선을 구축하는데 이 사업은 산불을 제때에 끄거나 더 퍼지지 않게 하는데서 특히 혁명전적지와 혁명사적지들을 산불로부터 철저히 보호하는데서 매우 중요한 의의를 가진다. 따라서 자원과 건물에 대한 위험이 최소로 되도록 연료파괴선들을 합리적으로 관리하여야 한다.

론문에서는 최근 산불방지에서 중요한 문제로 나서고있는 연료파괴선의 배치지역과 구축방법에 대하여 고찰하였다.

1. 연료파괴선의 구축목적과 배치지역

연료파괴선은 산불이 퍼지는것을 억제하거나 줄이기 위하여 식물과 락하물들, 잔해물들을 줄이거나 변경시킨 띠 혹은 구획을 말한다.

연료파괴선은 식물의 련속성을 변화시켜 산불의 세기와 퍼짐을 낮추거나 멈춰세우기 위한 장애물로 리용된다.

연료파괴선의 구축목적은 다음과 같다.

우선 특이한 지역 또는 재산 등에 산불이 퍼지는것을 막고 ·하나의 산불원천으로부터 하나의 산불퍼짐만을 허용하자는것이다.

또한 커다란 연료지역들을 분리하여 상대적으로 작은 면적에 산불을 제한시키며 웃불을 밑불로 전환시키자는것이다.

연료파괴선은 산불방지가 필요한 모든 산림토지들에 적용할수 있다.

일반적으로 연료파괴선내에 식물이 적게 있고 연료파괴선의 폭이 넓으면 퍼짐속도가 떠진다. 즉 연료파괴선이 넓을수록 산불위험이 안전하고 산불을 쉽게 끌수 있다.

연료파괴선은 다음과 같은 지역들에 배치하는것이 가장 효과적이다.

① 산불의 퍼짐속도를 낮추는 산릉선과 골짜기바닥가까이, 산불이 발생할수 있는 건물주변의 30～60m구간, 도로들과 송전선, 수송관을 따라 배치하는것이 효과적이다.

② 산불퍼짐을 감소시킬수 있는 습지들과 암석로출부, 광물지역, 기타 지형적으로 유리한 지역들의 주변, 솎음 등으로 인한 연료의 감소로 산불세기와 퍼짐속도를 낮출수 있는 지역들과 린접한 구역들에 배치하는것이 효과적이다.

③ 보호된 지역들을 계통적인 방식으로 확장하기 위하여 현재 존재하는 연료파괴선과 련결하여 배치하며 장애물들(암석로출부, 강하천, 수체, 습지, 자연적으로 불길세기가 낮은 피복물, 전력선, 전화선로, 가스와 원유수송관통로, 도로, 철길 등)을 고려하여 배치하는것이 효과적이다.

그리고 연료파괴선은 보호하여야 할 지역에서 바람방향과 수직되게 배치한다.

2. 산불위험등급에 따르는 연료파괴선의 구축방법

연료파괴선의 구축은 다음과 같은 조건들을 만족시켜야 한다.

우선 나무갓에 있는 가장 낮은 가지들과 떨기나무들사이 거리가 최대로 되여야 하며 나무갓들사이의 거리가 최대로 되여야 한다.

또한 떨기나무들과 지피식물의 밀도와 높이가 감소되여야 한다.

또한 연료파괴선의 폭은 가장 높은 나무의 2～3배 혹은 최소한 60m여야 한다.

연료파괴선을 구축하기 전과 구축한 후의 나무들의 배치상태는 그림과 같다.

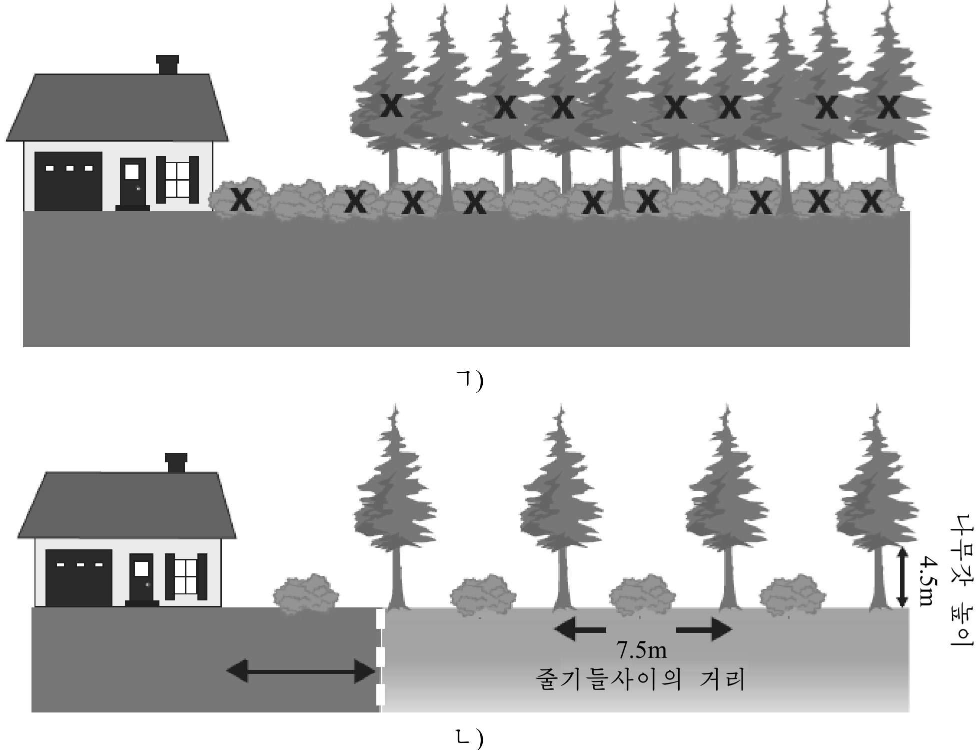


그림. 연료파괴선을 구축하기 전(ㄱ))과 구축한 후(ㄴ))의 나무들의 배치상태
X표식은 제거해야 할 나무들과 떨기나무들

산불위험등급은 연료파괴선의 크기와 형태에 영향을 준다.

산불위험등급에 따르는 연료파괴선의 구축방법을 보면 다음과 같다.

① 산불위험등급이 중간인 경우

임의의 건물로부터 최소한 9m의 연료파괴선을 구축하여야 한다.

건강한 줄기와 수관을 가진 지점특유의 토착종들을 합리적으로 리용하여 해당 지역전반에서 현재 있는 나무갓의 량을 20～30%정도 줄인다. 그리고 강대나무들을 제거한다.

나무의 바닥으로부터 높이 4.5m내에 있는 가지들을 잘라버린다.

1.8m이하에 있는 떨기나무층들을 줄이고 그 상태를 유지한다.

② 산불위험등급이 높은 경우

임의의 건물로부터 최소한 23m의 연료파괴선을 구축하여야 한다.

건강한 줄기와 수관을 가진 지점특유의 토착종들을 합리적으로 리용하여 해당 지역 전반에서 현재 있는 나무갓의 량을 35～45%정도 줄인다. 남아있는 나무줄기사이거리를 최소한 7.5m로 보장한다. 강대나무들을 제거한다. 나무의 바닥으로부터 높이 4.5m내에 있는 가지들을 잘라버린다. 1.8m이하에 있는 떨기나무층들을 줄이고 그 상태를 유지한다.

③ 산불위험등급이 아주 높은 경우

임의의 건물로부터 최소한 30m(100세대이상의 주택들을 보호하려면 60m)의 연료파괴선을 구축하여야 한다.

건강한 줄기와 수관을 가진 지역특유의 토착종들을 합리적으로 리용하여 해당 지역 전반에서 현재 있는 나무갓의 량을 50～60%정도 줄인다. 남아있는 나무줄기사이거리를 최소한 7.5m로 보장한다. 강대나무들을 제거한다.

맺 는 말

연료파괴선을 구축하는 사업은 산불을 제때에 끄거나 더 퍼지지 않게 하는데서 중요한 의의를 가지므로 자원과 건물에 대한 위험이 최소로 되도록 연료파괴선들을 합리적으로 관리하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] K. James et al.; Forest Ecology and Management, Springer, 55～66, 2010.
[2] R. Davidson et al.; Rural Research, 11, 139, 2013.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Construction Methods of Fuel Break Line for Forest Fire Protection

Kim Myong Sim, Ri Chol Myong

We considered distribution area and construction method of fuel break line that was arising as an important problem in prevention of forest fire.

Key words: forest fire, fuel break line, fire hazard, fire spread, crown

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

직교변환을 리용하여 토지피복변화검출의 정확도를 높이기 위한 한가지 방법

홍희성, 로명철

경애하는 최고령도자 **김정은**동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《전당, 전군, 전민이 산림복구전투를 힘있게 벌려 조국의 산들에 푸른 숲이 우거지게 하여야 하겠습니다.》

산림피복변화에 대한 정보를 보다 정확히 신속하게 얻는것은 나라의 산림을 보호하고 산림복구전투의 작전과 지휘를 과학적으로 진행하는데서 중요한 문제로 제기된다.

시계렬위성화상을 리용하면 산림피복을 비롯한 토지피복을 이루고있는 지표들의 면적변화값과 지표들의 세기, 속성 등을 분석하여 보다 쉬운 방법으로 로력과 자금을 적게 들이면서 산림피복면적의 변화값을 얻어낼수 있다.

세계적으로 볼 때 최근에 여러가지 위성화상자료를 리용하여 전지구적 및 지역적범위에서 토지리용, 토지피복상태, 생태환경변화 등을 조사하기 위한 연구[1]들이 활발히 벌어지고있다.

선행문헌들에는 Landsat의 MSS자료에 근거하여 전처리를 진행한 다음 분류를 진행하고 변화구역을 도출하는 방법[2], 2개의 위성화상의 파장별차이에 의해 검출하는 방법[3], 위성자료의 파장들사이 비값에 의해 변화를 검출하는 방법[4] 등이 있다.

론문에서는 직교변환을 리용하여 토지피복변화검출의 정확도를 개선하기 위한 방법에 대하여 서술하였다.

1. 직교변환에 의한 토지피복변화검출턱값결정

론문에서는 서로 다른 두 시기 위성화상자료로부터 변화검출을 정확히 평가하기 위한 모형을 작성하고 검출방법을 제기하였다.

두 시기 위성화상자료는 서로 중첩하여 처리하는것만큼 위치맞춤을 정확히 하는것이 중요하다. 론문에서는 이미 많이 연구된 정밀기하보정방법으로 0.5화소이하로 위치보정을 진행하였다.

기준위성자료를 X라고 하고 다른 위성자료를 Y'라고 하면 보정된 자료 Y는 다음과 같이 계산한다.

$$Y = Y' + \overline{d} \tag{1}$$

여기서 $\overline{d}$는 두 자료의 차의 평균값이다.

화소별로 쓰면 다음과 같다.

$$y_{ijk} = y'_{ijk} + d_k,\ i = \overline{1,\ n},\ \ j = \overline{1,\ m},\ \ k = \overline{1,\ K} \tag{2}$$

$$d_k = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(x_{ijk} - y_{ijk})/nm$$

여기서 i, j는 자료의 행, 렬번호이고 K는 대역수이다.

기준자료 X와 보정한 자료 Y가 주어졌을 때 차자료 D를 다음의 식으로 얻는다.

$$D = X - Y = (X_1 - Y_1, X_2 - Y_2, \cdots, X_k - Y_k)^T \tag{3}$$

서로 같은 시기 두 화상의 매 대역에서 스펙트르밝음도값을 맞춘 리상적인 조건에서 변화가 없으면 자료 D는 령값으로 되고 변화가 있으면 령값으로 되지 않는다. 그러나 서로 다른 시기의 화상에서 수감기의 특성상변화가 없는 화소에 대해서도 일정한 우연오차를 포함한다. 여기서 문제로 되는것은 변화된 화소를 어떻게 판정하여 얻어내겠는가 하는것이다. 이 문제를 확률통계리론에 의해 정량적으로 확정한다.

위성화상자료 X에서 i째 행, j째 렬의 k째 대역화소값을 x_{ijk}라고 하고 다른 위성자료 Y에 대해서는 y_{ijk}라고 하자. 그러면 차자료 D의 평균값벡토르와 공분산행렬은 다음과 같다.

$$m = (m_1,\ m_2, \cdots,\ m_k)^T,\ \ V = (V_{st})_{i,j=\overline{1,k}} \tag{4}$$

여기서

$$m_k = \frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\ (x_{ijk} - y_{ijk}),$$

$$V_{st} = \frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\{(x_{ijs} - y_{ijs}) - [m_s(x) - m_s(y)]\}\{(x_{ijt} - y_{ijt}) - [m_t(x) - m_t(y)]\},$$

$$m_s(x) = \frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\ x_{ijs},$$

$$m_s(y) = \frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\ y_{ijs}$$

이다.

변화화소를 검출하기 위한 턱값을 결정하기 위해 차자료 D의 대역별상관을 없애기 위한 직교변환을 진행한다.

직교변환을 위해 공분산행렬 V의 고유값벡토르와 고유벡토르행렬을 계산한다.

V의 고유값벡토르를 $\lambda = (\lambda_1,\ \lambda_2,\ \cdots, \lambda_k)^{\mathrm{T}}$라고 하고 고유벡토르행렬을

$$Z = (Z_{st})_{s,t=\overline{1,K}} = (Z_1,\ Z_2,\ \cdots,\ Z_K)\,(Z_s:\text{벡토르})$$

라고 하자. 그러면

$$VZ_s = \lambda_s Z_s,\ \ \sum_{t=1}^{k} Z_{st}^2 = 1\ (s = \overline{1,\ k})$$

이다.

차자료 D에 대하여 고유벡토르행렬 Z에 의한 변환을 다음과 같이 정의하였다.

$$f = (d - m)^T Z\Lambda^{-1/2} \tag{5}$$

여기서 d는 차화상의 화소벡토르, f는 변환된 화소벡토르, Z는 고유벡토르행렬,
$\Lambda^{-1/2} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{-1/2}, \cdots,\ 0 \\ \cdots \\ 0, \quad \cdots,\ \lambda_k^{-1/2} \end{pmatrix}$이다.

두 위성화상자료에서 변화가 없는 화소들의 차값은 평균값을 중심으로 우연적인 오차를 가지고있으므로 정규성을 가정하여도 크게 모순이 없다고 볼수 있다. 때문에 식 (5)에서 만일 K차원공간에서 d가 정규분포 $N(m, V)$에 따른다고 가정하면 f는 표준정규분포 $N(0, E)$에 따른다.

f가 표준정규분포 $N(0, E)$에 따른다면 그것의 매 성분우연량 f_s와 f_t는 $s \neq t$일 때 서로 독립이고 1차원정규분포 $N(0, 1)$에 따른다.

변화검출은 매 화소마다 오차범위의 화소밝음도값을 고려하여 진행하여야 하는것만큼 K차원공간에서 매 성분들의 변화정보는 직교변환후 표준편차 즉 고유값의 2차뿌리에 의해 결정되기때문에 고유값2차뿌리에 의한 무게붙은 합평균을 계산하여 실지변화된 화소를 계산한다.

$$h(f) = \frac{\sum_{i=1}^{K} f_i \lambda_i^{1/2}}{\sum_{i=1}^{K} \lambda_i^{1/2}} \tag{6}$$

그러면 매 성분 $f_i,\ i = \overline{1, K}$는 서로 독립이고 표준정규분포에 따르므로 $h(f)$도 정규분포에 따른다. 이것을 다시 표준화한다.

$$S = h(f) / \sigma_h \tag{7}$$

여기서 σ_h는 $h(f)$의 표준편차로서

$$\sigma_h = \frac{\sum_{i=1}^{K} \lambda_i}{\left(\sum_{i=1}^{K} \lambda_i^{1/2} \right)^2}$$

로 계산된다. 그러면 다시 S도 표준정규분포에 따른다.

식 (7)의 두제곱 S^2을 고찰하자.

S^2은 차화상이 평균값 0을 중심으로 얼마나 떨어져있는가를 나타내는 스칼라량이다.

S^2의 값이 작을수록 0에 더 가깝고 변화가 없을 확률이 더 커진다. 따라서 S^2의 크기에 따라 입력화소 X의 류형을 구분한다.

식 (7)에서 S가 표준정규분포 $N(0, 1)$에 따르고 서로 독립이므로 S^2은 자유도가 1인 χ^2－분포에 따른다. 그리고 χ^2－분포의 성질에 의해 다음과 같은 식이 성립한다.

$$p\{S^2 \le z_q(1)\} = 1 - q \tag{8}$$

여기서 $z_q(1)$은 자유도가 1이고 유의수준이 q인 χ^2－분포의 한계값이다. 다시말하여 S^2이 $z_q(1)$보다 작아질 확률은 $1-q$이다.

론문에서는 턱값을 $z_q(1)$로 놓고 변화된 화소를 검출함으로써 이전의 차자료 D에 의한 변화검출방법을 보다 리론적으로 정량화할수 있게 하였다.

또한 식 (5)에 의한 변환으로 상관성을 0으로 만들고 턱값에 의해 변화검출을 진행하는 방법을 제기하였다.

2. 시험적인 검증

시험지역은 북부고원 및 고산지대와 동북부 및 동해안북부지대의 부분지역으로서 지리적으로 대륙과 련결되여있으며 식물의 생태환경조건이 복잡한 지역이다. 위성자료는 복사분해능이 8bit인 여러 시기의 Landsat 5 TM 위성화상자료를 리용하는데 궤도번호는 115—31로서 구름이 없는 두 시기의 위성자료를 리용하였다.

론문에서는 8개의 토지피복류형의 표준지에 대하여 스펙트르공간에서의 대역별밝음도값을 서로 비교하여 두 화상의 스펙트르특성을 밝혔다.

선택한 시험지역의 토지피복류형은 표 1과 같다.

표 1. 시험지역의 토지피복류형

류형	바늘잎나무림	넓은잎나무림	바늘잎나무림	무림목지	밭	논	주민지	수역토지
코드	1	2	3	4	5	6	7	8

그림에서 보는것처럼 변화된 구역과 변화되지 않은 구역에서의 차이가 4대역과 5대역, 7대역에서 명백히 나타났다.

이러한 시험적인 연구에 근거하여 두 시기의 변화검출을 진행하였다.

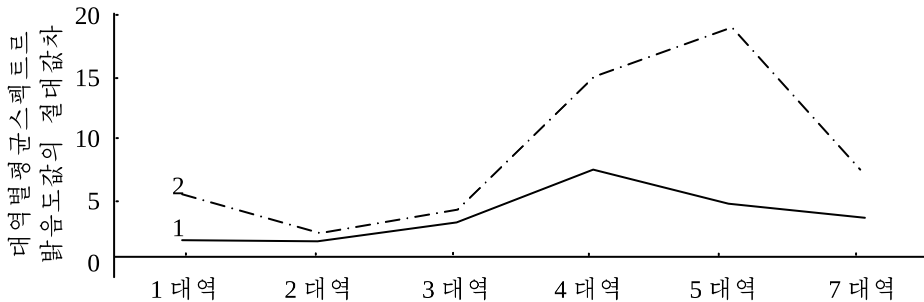


그림. 변화되지 않은 토지피복류형들(1)과 변화된 토지피복류형들(2)의 대역별평균스펙트르밝음도값의 절대값차

표 2. 검출결과의 비교(유의수준 q=0.975)

방법	오차/%
대역별검출턱값법	18.2
직교변환턱값법	13.0
차	5.2

비교평가는 선행문헌[4]에서 제기한 매 대역별분산에 의한 턱값검출방법으로 검출하였을 때의 오차와 직교변환에 의한 턱값결정방법으로 검출하였을 때의 오차를 계산하여 서로 대비하는 방법으로 진행하였다.(표 2)

맺 는 말

비교결과 직교변환에 의해 결정한 공간적인 턱값에 의한 변화검출방법이 매 대역별분산에 의한 턱값에 의한 검출방법에 비해 정확도가 평균 5.2% 더 높다는것을 알수 있다.

참 고 문 헌

[1] C. Conrad; Journal of Arid Environments, 124, 150, 2016.
[2] Yuanbo Liu et al.; Remote Sensing, 25, 11, 2121, 2004.
[3] J. Yang; Remote Sensing, 21, 2, 301, 2000.
[4] J. C. Morton; Classification and Change Detection in Remote Sensing, Taylor & Francis, 233～244, 2007.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

A Method for Accuracy of the Detection of Land Cover Change by Using Orthogonal Conversion

Hong Hui Song, Ro Myong Chol

In this paper we clarified the method for the detection of land cover change by using orthogonal conversion to multispectral character of a series satellite image data.

Key words: orthogonal conversion, satellite image, detection of land cover change

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

ㄴ지역에서의 위성화상정향오차분포특성연구

강룡철, 김유철, 박남혁

고분해능위성화상을 리용하여 지도를 작성할 때 위성화상의 정향을 잘하여 지물들의 위치오차를 최소로 하는 문제는 매우 중요하다.

론문에서는 위성화상정향에서 다항식에 의한 정향방법들을 비교분석하고 그에 기초하여 ㄴ지역에서의 위성화상정향오차분포특성을 밝히는 방법에 대하여 서술하였다.

1. 다항식에 의한 보간방법

론문에서는 현재 많이 쓰이고있는 보간방법들인 1, 2, 3차 다항식에 의한 보간방법을 리용하였다.[1－3]

1차다항식보간공식

$$X=a_0+a_1x+a_2y$$
$$Y=b_0+b_1x+b_2y$$

2차다항식보간공식

$$X=a_0+a_1x+a_2y+a_3x^2+a_4xy+a_5y^2$$
$$Y=b_0+b_1x+b_2y+b_3x^2+b_4xy+b_5y^2$$

3차다항식보간공식

$$X=a_0+a_1x+a_2y+a_3x^2+a_4xy+a_5y^2+a_6x^3+a_7x^2y+a_8xy^2+a_9y^3$$
$$Y=b_0+b_1x+b_2y+b_3x^2+b_4xy+b_5y^2+b_6x^3+b_7x^2y+b_8xy^2+b_9y^3$$

다항식보간방법의 기하학적의미는 그림과 같다.

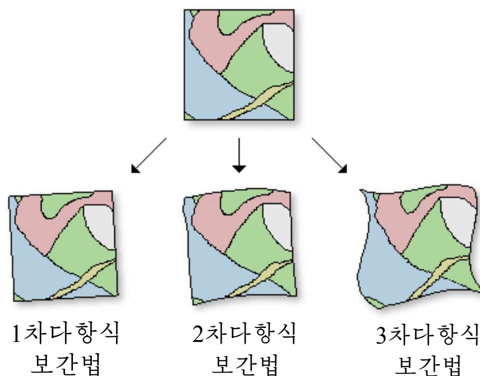


그림. 다항식보간법들의 기하학적의미

위성화상들은 촬영시 촬영기의 위치와 초기의 위성화상정향방법에 따라 위성화상자체에 끄임을 가지고있기때문에 그림에서 보는것처럼 자기의 변형에 맞는 다항식을 선택하여 정향하는것이 중요하다.

2. 위성화상정향에 영향을 주는 인자

우리 나라에서 리용하고있는 위성화상자료들에는 지구자원위성 Landsat계렬의 위성화상들과 Quickbird위성화상자료들을 포함하여 여러가지가 있다. 이러한 위성화상자료들은 대체로 WGS-84타원체우에서 정향된 자리표값을 가지고있는데 이것을 우리 나라에서 리용하고있는 자리표값으로 전환해야 한다.

위성화상정향에 영향을 주는 인자들은 다음과 같다.

① 지상조정점들의 위치

위성화상우에서 지상조정점을 어느 위치에 놓는가에 따라 위성화상의 정향오차를 감소시킬수 있다. 다시말하여 위성화상우에 지상조정점을 어떻게 배치하는가에 따라 정향된 위성화상의 위치결정정확도가 높아지거나 낮아지게 된다.

일반적으로 지상조정점은 설정된 위성화상우에 균일하게 배치하는 원칙이며 다항식의 차수에 따라 1차다항식인 경우에는 3점이상, 2차다항식인 경우에는 6점이상, 3차다항식인 경우에는 10점이상을 설정한다.

지상조정점들이 정향되는 위성화상우에 불규칙적으로 분포되여있다고 할지라도 평지와 산지, 경사면우에 배치되여있다면 정향정확도를 보장할수 있다.

② 지형높이

지형높이는 위성화상을 정확히 정향하는데서 중요한 지표의 하나이다.

여기서 중요한것은 위성화상우에서 그 령역의 지형높이차를 고려하여 지상조정점을 배치하여야 위성화상을 정확히 정향할수 있으며 따라서 위치결정정확도를 높일수 있다는것이다.

위성화상의 정향정확도를 높이기 위하여서는 지형높이가 급격히 변하는 지역에서 그 변곡점들을 지상조정점으로 설정하여야 하며 특히 산정점을 비롯한 특이점들을 반드시 지상조정점으로 선택하여야 한다.

3. ㄴ지역의 위성화상정향에서 오차의 분포특성

연구지역인 ㄴ지역에서 타일화된 위성화상들은 모두 238개이며 매 위성화상에서 지상조정점들은 대체로 6～14개를 선택하였다.

론문에서는 위성화상정향에 영향을 주는 인자들의 특성을 고려하여 지상조정점들을 배치하고 1, 2, 3차 다항식보간방법을 리용하여 정향을 진행하였으며 매 위성화상들에서 검열점들에 대한 2제곱평균오차를 계산하였다.

1차다항식보간법에 의하여 위성화상을 정향하면 2제곱평균오차가 15～20m인 지역이 90%이상으로서 대부분을 차지하고있으므로 이 방법이 적합치 않다는것을 알수 있다.

2차다항식보간법에 의하여 위성화상을 정향하면 2제곱평균오차가 0.04～0.06m인 지역이 68%로서 많은 부분을 차지하고있다는것을 알수 있다.

3차다항식보간법에 의하여 위성화상을 정향하면 2제곱평균오차가 0.03～0.04m인 지역이 52%로서 많은 부분을 차지하고있으며 1차 및 2차다항식보간법에 비하여 정확도가

높다는것을 알수 있다.

타일화된 위성화상지역들에서 지형높이차가 작은 지역들(닫긴 도형들)은 정향된 위성화상의 검열점들에 대한 2제곱평균오차가 비교적 작고 지형높이차가 큰 지역들에서는 그 2제곱평균오차가 비교적 크다는것을 알수 있다.

맺 는 말

론문에서는 지상조정점들의 배치와 지형높이가 위성화상정향에 영향을 주며 위성화상의 꼬임특성에 따라 2차 혹은 3차다항식보간법을 적용하여야 한다는것을 밝혔다.

ㄴ지역에서 타일화된 위성화상들을 2차 혹은 3차다항식보간법으로 정향하여도 3～4cm의 정확도로 지물위치를 결정할수 있다는것을 밝혔다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학), 57, 7, 145, 주체100(2011).

[2] 강영호, 지리정보체계원리, **김일성**종합대학출판사, 97～145, 주체102(2013).

[3] ArcGIS 10.4 for Desktop Help, ESRI, 75～113, 2015

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Study on the Error Distribution Property of the Adjusted Satellite Images in “ㄴ” Area

Kang Ryong Chol, Kim Yu Chol and *Pak Nam Hyok*

We described that the location of feature could be determined in accuracy of 3～4cm even adjusting the tiled satellite images with using the interpolation method of the second or third-order polynomial equation in “ㄴ” area.

Key words: polynomial equation, satellite image

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

시계렬NDVI, NDWI화상을 리용한 논면적추정방법

최진명, 김순영

위성화상을 리용하여 토지피복상태를 해석할 때 한 시기 화상을 리용하는것보다 여러 시기 화상을 리용하면 해석정확도를 보다 높일수 있다.[2, 3]

론문에서는 논벼의 재배와 성장특성을 분석하고 여러 시기의 표준차식피지수(NDVI)와 표준차물지수(NDWI)화상을 리용하여 논면적을 추정하기 위한 방법에 대하여 서술하였다.

1. 표준차식피지수와 표준차물지수

NDVI는 식물피복의 스펙트르반사특성에 기초하여 식물피복상태를 강조하기 위하여 개발되였다.[1－3]

Landsat 8 OLI화상에서 산림대상화소의 대역별밝음도특성을 보면 4대역의 밝음도값과 5대역의 밝음도값의 차이는 크게 나타난다.(그림 1)

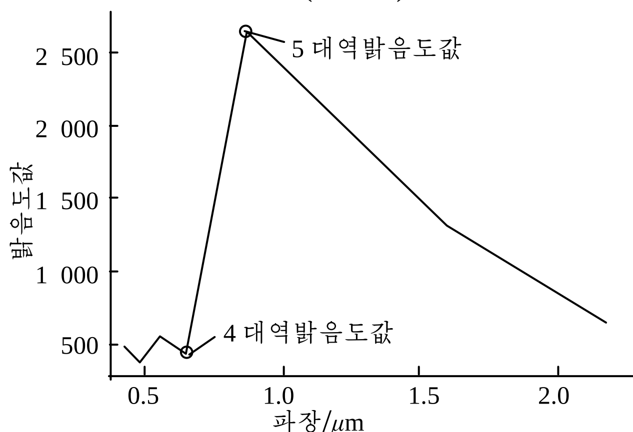


그림 1. 산림대상화소의 대역별밝음도특성

적색대역과 근적외선대역에서 산림대상의 흡수반사특성을 리용하여 얻어진 NDVI는 다음과 같다.

$$\text{NDVI} = \frac{(Band5 - Band4)}{(Band5 + Band4)}$$

여기서 *Band*5는 Landsat 8 OLI화상의 근적외선대역의 밝음도값, *Band*4는 적색대역의 밝음도값이다.

이와 마찬가지로 수문대상을 강조하기 위하여 NDWI도 개발되였다.(그림 2)

$$\text{NDWI} = \frac{(Band3 - Band6)}{(Band3 + Band6)}$$

여기서 *Band*3은 Landsat 8 OLI화상의 록색대역의 밝음도값, *Band*6은 단파적외선대역의 밝음도값이다.

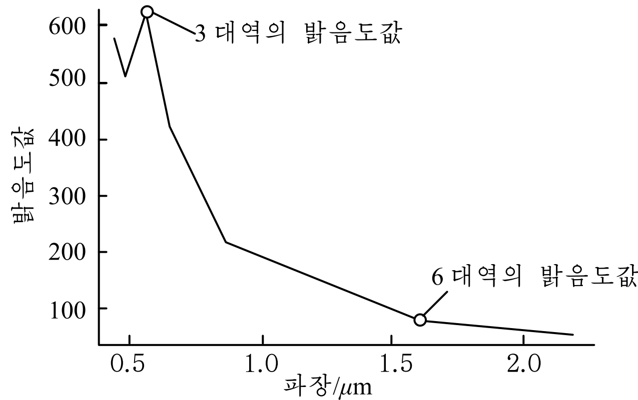


그림 2. 수문대상화소의 대역별밝음도특성

2. 논에서 NDVI, NDWI의 계절적변화특성분석

논벼는 언제나 물과의 밀접한 련관속에서 성장하므로 논의 NDVI와 NDWI는 계절에 따라 명백한 변화특성을 가진다.

우리 나라의 서해안벌방지대에서는 5월 중순에 모내기를 시작하는데 이 시기의 NDVI와 NDWI화상에서 논은 명백히 식물피복대상이 아니라 수문대상과 같이 나타난다.

이 시기 논은 모내기를 위하여 물을 댄 상태 또는 어린 모상태로서 수문대상인 저수지와 비슷한 특성을 가지고 화상에 반영된다.

9월 상순에 논벼는 여무는 시기로서 논물은 벼에 의하여 가리워져 화상에 거의 반영되지 않으며 논은 식물피복대상으로 나타난다. 이 시기의 NDVI화상에서 논벼를 비롯한 다른 농작물과 여러 식물들이 왕성한 성장상태에 있으므로 수문대상, 주민지, 라지 등을 제외한 다른 대상들은 모두 밝게 나타난다.

또한 NDWI화상에서는 수문대상인 저수지화소들만이 명백히 밝게 나타난다. 이와 같이 계절에 따르는 NDVI, NDWI화상의 변화특성은 논벼의 성장상태를 잘 반영하며 이러한 변화특성을 리용하여 논벼재배령역을 추출할수 있다.

3. 연구방법과 결과분석

1) 연구방법

연구지역으로서 서해안벌방지대의 표지구를 선택하였다. 벡토르자료로서 행정구역자료와 함께 정확도를 평가하기 위하여 1:2 000농업토지지적도에서 입력한 지목자료를 리용하였다. 화상자료는 4개의 서로 다른 시기의 Landsat 8 OLI화상을 리용하였다.(표 1)

표 1. 연구에 리용한 Landsat 8 OLI화상

No.	화상번호	날자
1	117－33	2015년 5월 24일
2	117－33	2014년 6월 6일
3	117－33	2014년 9월 10일
4	117－33	2015년 10월 31일

먼저 4개 화상에 대한 복사량보정, 대기보정을 진행하고 매개 화상에 대하여 NDVI, NDWI화상을 얻었다. 얻어진 8개의 NDVI, NDWI화상을 리용하여 8층으로 구성된 ENVI화일(*.hdr, *.dat)을 구성한다.(표 2)

비감독분류방법인 ISODATA법으로 화상분류를 진행하였다.

ISODATA법에서 설정한 파라메터값들은 표 3과 같다. 최대무리수는 연구지역의 농업토지에 들어있는 지목과 산림, 수문, 주민지 등 기타 토지류형을 고려하여 정하였다.

표 2. ENVI화일에서 화상배렬순서

층번호	화상
1	2015년 5월 24일 NDVI
2	2014년 6월 6일 NDVI
3	2014년 9월 10일 NDVI
4	2015년 10월 31일 NDVI
5	2015년 5월 24일 NDWI
6	2014년 6월 6일 NDWI
7	2014년 9월 10일 NDWI
8	2015년 10월 31일 NDWI

표 3. ISODATA법에서 설정한 파라메터값

파라메터	값
최대무리수	20
최대반복회수	30
변화턱값/%	5
무리내 최대표준편차	0.01
무리사이최소거리	0.05
무리최대통합수	2

2) 결과분석

분류결과를 평가하기 위하여 시계렬 NDVI, NDWI화상을 리용한 분류결과화상과 2015년 5월 24일의 다중스펙트르화상을 리용한 분류결과화상을 대비분석하였다. 두 결과화상에서 추출한 논면적을 지목벡토르자료에서 얻어낸 논면적과 비교하여 상대오차를 계산하였다.

앞에서 서술한바와 같이 시계렬 NDVI, NDWI화상에서는 논과 수문대상을 비롯한 토지류형들이 고유한 계절적변화특성을 가지고있다.(그림 3) 그러나 한 시기 화상을 리용하는 경우 논벼의 계절적변화특성을 반영하지 못하며 분류정확도가 떨어지게 된다.(표 4)

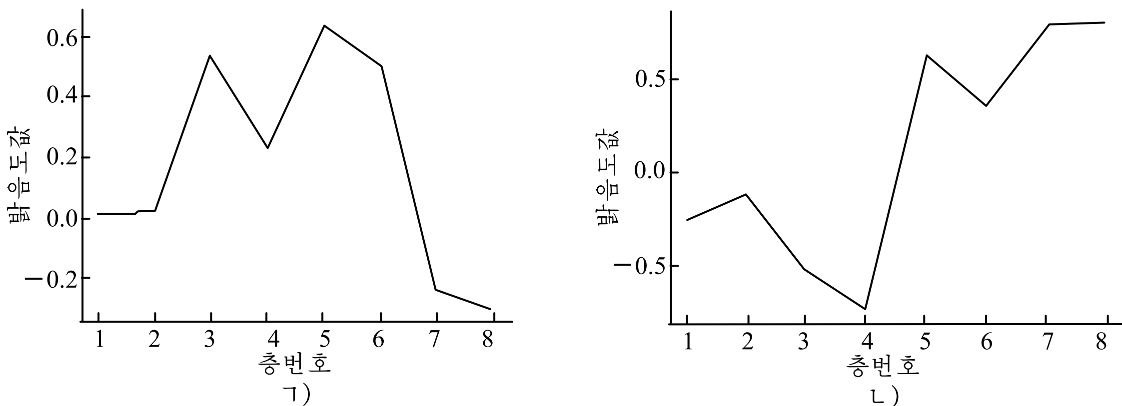


그림 3. 논벼와 저수지화소의 NDVI, NDWI계절적변화특성
ㄱ) 논벼화소, ㄴ) 저수지화소

표 4. 시계렬화상과 한 시기화상의 분류결과분석

지표	지목자료	시계렬화상을 리용한 분류화상	한 시기 화상을 리용한 분류화상
논면적/km^2	157.66	141.32	133.43
상대오차/%	0	12	18

표 4에서 알수 있는바와 같이 시계렬 NDVI, NDWI화상을 리용한 경우 한 시기 화상을 리용한 경우보다 상대정확도가 6%정도 높아졌다. 시계렬화상인 경우 물을 대지 않은 일부 논들에서 오분류현상이 나타난것으로 하여 논면적이 작게 얻어졌다.

맺 는 말

논벼의 재배와 성장에 따르는 스펙트르반사특성의 계절적변화에 기초하여 시계렬 NDVI, NDWI화상을 리용한 논벼재배면적추출방법을 제기하고 한 시기 화상을 리용한 분류결과와 대비하여 효과성을 검증하였다. 이 방법을 리용하여 논벼재배령역뿐아니라 저수지, 강하천을 비롯한 수문대상과 산림대상을 비교적 정확히 추출할수 있다.

참 고 문 헌

[1] 최동륜 등; 원격조사원리, **김일성**종합대학출판사, 193～226, 주체101(2012).

[2] S. T. Prasad et al.; Remote Sensing, 4, 2890, 2012.

[3] Xian Zhang Pan et al.; International Journal of Remote Sensing, 3, 585, 2010.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Estimation Method of Rice Field Area by Using Multitemporal NDVI and NDWI Images

Choe Jin Myong, Kim Sun Yong

In this paper we analyzed the characteristic of culture and growth of rice and studied the estimation method of rice field area by using multitemporal normalized difference vegetation index (NDVI) and normalized difference water index (NDVI) images.

Key words: NDVI, NDWI

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

중규모수치일기예보모형에서 복사물리과정의 보조변수화에 대한 연구

리성남, 황룡호

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《선진과학기술을 받아들이기 위한 사업을 적극적으로 벌려야 하겠습니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제15권 499페지)

론문에서는 세계적으로 널리 리용되고있는 수치일기예보모형인 WRF(Weather Research and Forecasting)에 들어있는 대기물리과정의 보조변수화도식들가운데서 복사물리과정의 보조변수화도식의 하나인 빠른복사수송(RRTM)도식에 대한 연구를 진행하고 이것을 현업중규모수치일기예보모형과 결합하여 진행한 수치실험에 대하여 서술하였다.

1. WRF모형에 들어있는 복사물리과정의 보조변수화도식들

WRF모형에는 대기물리과정(미시물리, 적운대류, 접지층, 지표면과정, 행성경계층, 대기복사 등)들에 대한 보조변수화도식들이 들어있다.[1] 이가운데서 복사물리과정의 보조변수화도식들은 표 1과 같다.

표 1. 복사물리과정의 보조변수화도식들

복사도식들	파장	탐측통로	고려특성량들
RRTM	장파	16	CO_2, O_3, 수증기
GFDL LW	장파	14	CO_2, O_3, 수증기
CAM3 LW	장파	2	CO_2, O_3, 수증기
GFDL SW	단파	12	CO_2, O_3, 수증기
MM5 SW	단파	1	수증기
Goddard	단파	11	CO_2, O_3, 수증기
CAM3 SW	단파	19	CO_2, O_3, 수증기

① RRTM

이 도식은 1997년에 개발되여 비정력학중규모모형인 MM5에 도입되였으며 k(흡수결수)－상관법을 리용한 스펙트르대역도식이다. 이 도식에서는 수증기와 오존, 탄산가스 그리고 기타 다른 흡수기체들에 의한 장파복사수송과정을 구름의 광학적두께를 고려하여 정확히 묘사하고있다.

빠른복사수송모형은 복사수송계산을 k에 철저히 의존하면서도 계산을 빨리 할수 있는 효과적인 방법으로서 선별(Line－by－Line)모형으로부터 k값들을 얻는다.

RRTM과 Line－by－Line모형사이의 관계를 그림 1에 제시하였다.

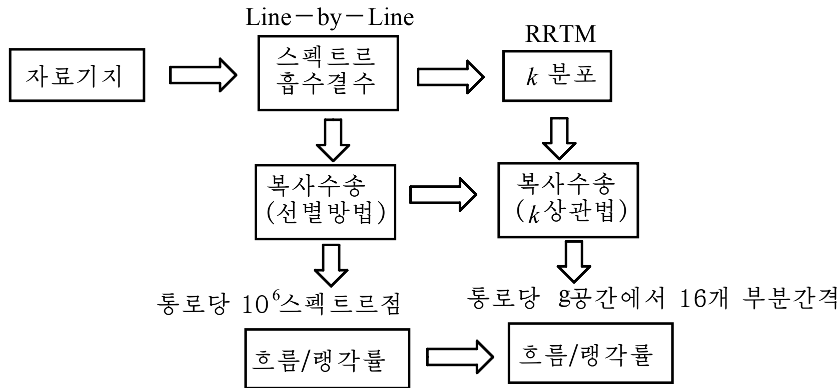


그림 1. RRTM과 Line−by−Line모형사이의 관계

② GFDL LW

이 장파도식은 1975년과 1991년에 개발된 간단화된 교환법에 기초하는 도식으로서 탄산가스, 수증기, 오존과 관련된 스펙트르대역우에서의 장파복사과정을 계산한다. 여기에는 탄산가스와 수증기련속체에 대해서는 투과결수들과 수증기−탄산가스겹침효과들이 포함된다. 이 도식은 η모형을 비교연산하는데 리용된다.

③ CAM3 LW

이 도식은 기후예측을 위한 공용대기모형(《CAM 3.0》)에서 리용한 스펙트르대역도식으로서 여러가지 흡수기체들과 구름특성량들을 고려한다.

④ GFDL SW

이 도식은 대기중의 수증기, 오존, 탄산가스효과들에 의한 단파복사과정을 묘사하고있다. 단파복사계산은 시간간격에 따르는 낮동안의 평균태양천정각의 코시누스를 리용하여 진행한다.

⑤ MM5 SW

이 단파복사도식은 1989년에 개발되여 MM5모형으로부터 나왔다. 이 도식에서는 맑은 대기에서의 산란과 수증기흡수 그리고 구름반사도와 흡수를 고려하여 태양복사를 우로부터 아래로 간단히 적분한다. 이 도식에서는 지표면태양복사흐름에서 지형구배와 음영효과들을 고려하여 선택한다.

⑥ Goddard

이 단파복사도식은 1994년에 개발되였으며 11개의 흡수대역들에서 산란과 반사성분들을 고려하여 직달태양복사성분들을 계산한다. 오존은 여러가지 기후학적자료들을 리용하여 계산한다.

⑦ CAM3 SW

이 도식은 공용대기모형(《CAM 3.0》)에서 리용한 단파복사도식으로서 여러가지 형태의 아에로졸들과 흡수기체들의 광학적특성들을 반영한다. 이 도식은 예측기간 월평균기후학적자료에 따르는 오존분포자료에 의한 지역기후예측에 매우 적합한 도식이다.

이가운데서 RRTM도식은 비교적 계산속도가 빠르고 수증기, 탄산가스, 오존대역에서 장파복사과정들을 잘 묘사하고있으므로 이 도식을 현업중규모수치일기예보모형과 결합하여 실험을 진행하였다.

2. 중규모수치일기예보모형의 기본방정식계와 수치실험

1) 중규모수치일기예보모형의 기본방정식

우리 나라에서 현업모형으로 리용하고있는 2h준위반라그랑쥬도식에 기초한 제한구역 수치일기예보모형에서 습윤대기에 대한 기본방정식들을 극립체투영도우의 직각자리표와 수직 σ 자리표계에서 쓰면 다음과 같다.[2]

$$\frac{d_H U}{dt} + \dot{\sigma}\frac{\partial U}{\partial \sigma} + \frac{\partial \phi}{\partial x} + RT_v \frac{\partial \ln p_s}{\partial x} - lU + \frac{\partial s}{\partial x}\frac{U^2 + V^2}{2} = F_u \quad (1)$$

$$\frac{d_H V}{dt} + \dot{\sigma}\frac{\partial V}{\partial \sigma} + \frac{\partial \phi}{\partial y} + RT_v \frac{\partial \ln p_s}{\partial y} + lV + \frac{\partial s}{\partial y}\frac{U^2 + V^2}{2} = F_v \quad (2)$$

$$\frac{d_H T}{dt} + \dot{\sigma}\frac{\partial T}{\partial \sigma} + \chi T_v \frac{1}{[1 + (\delta - 1)q]}\left(\frac{d_H \ln p_s}{dt} + \frac{\dot{\sigma}}{\sigma}\right) = \frac{H_T}{c_{p_m}} + F_T \quad (3)$$

$$\frac{d_H q}{dt} + \dot{\sigma}\frac{\partial q}{\partial \sigma} = S_q + F_q \quad (4)$$

$$\frac{d_H \ln p_s}{dt} + D + \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln \sigma} = -R_d T_v \quad (6)$$

여기서

$$T_v = \left[4 + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1\right)q\right]T \quad (7)$$

는 가온도이고

$$\frac{d_H}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + S\left(U\frac{\partial}{\partial x} + V\frac{\partial}{\partial v}\right) \quad (8)$$

$$D = S\left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial v}\right) \quad (9)$$

$$U = \frac{u}{m}, \quad V = \frac{v}{m}, \quad S = m^2$$

이다. $F_{u,}F_v, F_T, F_q$ 들은 확산항, H_T 는 비단열가열률, S_q 는 가습률이다.

모형에서 리용되는 변수와 상수들은 다음과 같다.

$\sigma = \dfrac{p}{p_s}$ – 수직자리표, p —기압, p_s —지면기압, $\dot{\sigma} = \dfrac{d\sigma}{dt} - \sigma$ 수직속도, u, v —바람의 x, y 성분, m—지도확대결수, T – 온도(K), l – 코리올리파라메터, ϕ – 중력포텐샬, ϕ_s – 지면중력포텐샬, q – 비습, R – 기체상수, R_d – 건조공기의 기체상수, R_v – 수증기의 기체상수, D – 발산, $\delta = \dfrac{c_{pd}}{c_{pv}}$, $\chi = \dfrac{R_d}{c_{pd}}$, $c_{pm} = [1 + (\delta - 1)q]c_{pd}$, ε —자리길비중심화결수이다.

2) RRTM도식과의 결합에 의한 수치실험

현업중규모수치일기예보모형에서 복사물리과정을 고려하기 위하여 WRF모형에 들어있는 RRTM도식을 예보모형과 결합하였다.

WRF모형에 들어있는 RRTM복사도식은 장파복사도식으로서 16개의 스펙트르대역에서 탄산가스와 오존, 구름특성량들 그리고 기타 흡수기체들이 복사물리과정에 미치는 영향을 고려하게 되여있다.

수치실험을 위하여 두 모형의 변수들을 일치시키고 이에 기초하여 2013년 8월 1일부터 30일까지 RRTM을 결합하기 전의 모형(1방안)과 결합후의 모형(2방안)에 대한 비교실험을 진행하였다.

2개 방안에 따르는 여러가지 예보량들(바다면기압, 중력포텐샬높이, 지표면온도, 2m온도, 상대습도)에 대한 12, 24, 36h예보마당의 표준오차를 각각 계산하였다.(표 2)

표 2. 2개 방안에 따르는 여러가지 예보량들의 표준오차

예보량		12h		24h		36h	
		1방안	2방안	1방안	2방안	1방안	2방안
$p_{바다면}$/hPa		98	102.4	155	155.4	214	200.6
Z/m	1 000	8	9	13	13	18	17
	925	8	8	12	12	17	16
	850	8	8	11	12	17	15
	700	7	8	10	11	15	15
	500	8	8	11	11	15	14
	300	13	13	18	19	23	25
	200	16	15	22	23	27	29
	100	20	22	23	29	27	34
	10	96	45	160	59	208	72
T/K	1 000	1.0	1.1	1.4	1.4	1.7	1.8
	925	1.2	1.2	1.5	1.7	1.7	2.0
	850	1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8
	700	0.9	0.9	1.2	1.1	1.5	1.3
	500	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4
	300	1.0	1.0	1.5	1.5	1.6	1.7
	200	1.0	1.1	1.4	1.4	1.6	1.8
	100	1.3	0.8	1.8	1.0	2.2	1.2
	10	6.5	2.8	9.9	3.2	11.8	3.9
T_{2m}/K		2.8	1.5	2.9	1.5	2.8	1.7
RH/%	1 000	12	16.1	16	19.5	18	20.9
	925	14	15.0	19	20.0	22	22.9
	850	15	15.6	19	19.7	24	23.4
	700	15	13.7	17	16.5	22	20.0
	500	17	16.8	20	20.3	25	24.0

그림 2에서는 2013년 9월 30일 09시마당을 초기마당으로 하였을 때의 두 방안에 따르는 중력포텐샬높이, 온도에 대한 24h예보마당(10월 1일 09시)을 보여준다.

표 2와 그림 2에서 보는바와 같이 지면부터 대류권상층(200hPa)까지의 오차는 두 방안에 대하여 서로 비슷하며 그 이상층(100hPa이상)에서는 2방안이 1방안보다 중력포텐샬높이와 온도에 대하여 2배이상으로 오차를 감소시킨다는것을 알수 있다.

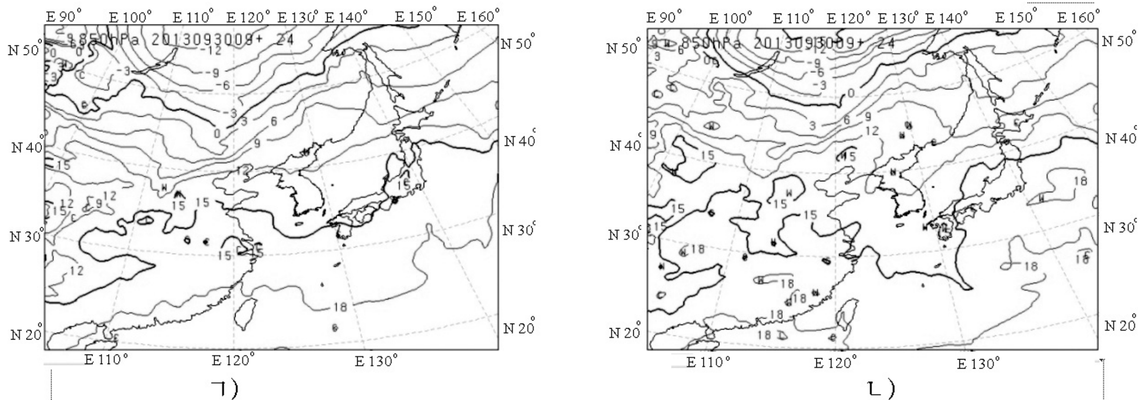


그림 2. 두 방안에 따르는 중력포텐샬높이, 온도에 대한 24h예보마당

ㄱ) 1방안, ㄴ) 2방안

맺 는 말

RRTM에 의한 복사도식을 현업중규모수치일기예보모형에 결합하면 100hPa이상층에서 전반적인 수치예보마당오차를 절반이상 감소시킨다는것을 알수 있다. 그 원인은 결합전모형에서 오존자료들을 어떤 하나의 특정한 자료로 리용하는 비교적 단순한 복사도식을 리용하였기때문이라고 볼수 있다.

참 고 문 헌

[1] W. C. Skamarock et al.; A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR/TN-475+STR, 78～80, 2008.

[2] J. D. Beezley et al.; ARW Version 3 Modeling System User's Guide, Mesoscale & Microscale Meteorology Division, 126～132, 2012.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Study on Parameterization of Radiative Physical Process in the Atmosphere with WRF

Ri Song Nam, Hwang Ryong Ho

In this paper, we studied that using RRTM of WRF(Weather Research and Forecasting) model in our operational MNWFM(Mesoscale Numerical Weather Forecasting Model) reduced error.

Key words: WRF, RRTM, mesoscale numerical weather forecasting model, parameterization

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

식피물공급지수와 강수지수의 결합에 의한 가물평가

량철호, 김국철

가물을 평가하는 방법들에는 위성탐측자료를 리용하는 방법과 지면기상관측자료를 리용하는 방법이 있다. 이러한 평가방법들은 해당한 우점과 결함들을 가지고있다.

론문에서는 위성탐측자료를 리용한 가물평가방법과 강수량관측자료에 기초한 가물평가방법들을 서로 결합하여 새로운 가물평가모형을 작성하고 평가실험을 진행한 정형에 대하여 서술하였다.

1. 위성탐측자료에 의한 식피물공급지수

가물기간에 토양물공급은 작물이 정상적으로 자라는데 불충분하게 진행된다. 이때 식물들은 표면으로부터 잃는 물량을 감소하기 위하여 잎들의 공기구멍을 닫으려는 경향이 있다. 이렇게 되면 식물피복층의 온도는 상승하게 된다.

이로부터 식물피복층온도변화와 토양물공급사이관계를 리용한 가물감시를 위한 지수가 개발되였다.[1, 3]

식피물공급지수 *VSWI*의 계산식은 식피지수와 식물피복층온도에 의하여 다음과 같이 쓸수 있다.

$$VSWI = \frac{NDVI}{T_s}$$

여기서 T_s는 식물피복층의 온도로서 위성탐측자료로부터 회복된 지표면온도, *NDVI*는 표준차식피지수이다.

*VSWI*가 단순하고 계산이 쉽기때문에 그것은 토양습도와 가물감시에 대한 연구에서 광범히 적용될수 있다.

*VSWI*로 가물세기를 직접적으로 표현하기 위하여 론문에서는 *VSWI*를 다음과 같이 표준화하여 가물세기를 나타내는 새로운 지수로 제기하였다.

$$SDI = (VSWI - VSWI_d)/(VSWI_w - VSWI_d) \times 100$$

여기서 *SDI*는 표준화된 *VSWI*로서 0부터 100까지의 범위의 값들을 가진다. *SDI*=0이면 가장 심한 가물을 나타내고 *SDI*=100이면 가장 습한 조건을 나타낸다. 그리고 $VSWI_d$와 $VSWI_w$는 각각 가장 심한 가물과 가장 습한 조건인 경우의 값이다.

$VSWI_d$와 $VSWI_w$의 값계산을 표준차식피지수에 기초하여 다음과 같이 진행한다. 즉 *NDVI*를 n으로부터 $n+d$로 설정하고 $VSWI_d=(n+d)/T_2$, $VSWI_w=(n+d)/T_1$에 의하여 계산한다. 그리고 *NDVI*의 간격 d를 0.05로 설정한다. 여기서 T_1과 T_2는 작물의 자라기에 알맞는 온도의 아래한계와 웃한계이다.

2. 강수량관측자료에 의한 강수지수

기상학적으로 강수지수(*PDI*)는 일정한 기간에 대한 건조정도를 표현하는 지수로 리용되여왔다.[2] *PDI*는 평균강수량에 대한 일정한 기간의 강수량비률로 계산되였다.

강수가 오랜 기간평균의 2배이상일 때에는 농업생태계는 충분한 토양물공급을 가진다는 가정하에 가물기간에 가물감시를 위한 강수지수를 다음과 같은 공식에 의하여 계산한다.

$$PDI(\%) = \frac{R}{2R_w} \times 100$$

여기서 R는 10일간 강수량, R_w는 같은 기간에 대한 30년평균강수량이다.

위성탐측자료에 의한 가물평가지수 *SDI*와 강수지수 *PDI*를 결합하기 위하여 R=0일 때 *PDI*=0, $R>2R_w$일 때 *PDI*=100으로 표준화한다.

현재기간에 강수가 전혀 없는 지역이라도 가물이 발생하지 않을수도 있는데 그것은 지난 기간에 충분한 강수가 있었기때문이다. 이것은 가물이 오랜 기간 토양물공급의 부족으로부터 초래되는 현상이기때문이다.

그러므로 가물평가에서 *PDI*의 개념을 적용할 때 지난 기간의 강수를 고려하였다.

가물은 보통 두달기간이상 강수가 없을 때 발생하기때문에 가물세기의 평가에서 *PDI*를 리용한 다음과 같은 새로운 평가지수를 제기하였다.

$$MPDI = A_0 \times PDI_0 + A_1 \times PDI_1 + A_2 \times PDI_2 + A_3 \times PDI_3 + \cdots + A_8 \times PDI_8$$

여기서 *MPDI*는 가물평가를 위한 개선된 강수차이지수인데 이 값은 0～100까지의 범위의 값을 가진다. PDI_i와 A_i는 기간 i(10일간)에 대한 *PDI*와 그것의 무게인데 i=0은 현재기간이고 i=8은 이전의 8번째 기간이다. 매 기간의 무게는 가물평가에서 그 중요성에 따라 결정할수 있다.

표지역에서의 강수량관측자료에 기초하여 계산된 PDI_i와 2017년 6월 상순의 *MPDI*는 표와 같다.

표. PDI_i와 2017년 6월 상순 *MPDI*

PDI_i	PDI_0	PDI_1	PDI_2	PDI_3	PDI_4	PDI_5	PDI_6	PDI_7	PDI_8	*MPDI*
	33.1	42.5	31	37.6	0	78.6	100	0	5.3	35.69
무게	0.308	0.223	0.157	0.108	0.074	0.05	0.03	0.025	0.018	

표에서 PDI_0, PDI_1, PDI_2, PDI_3, PDI_4, PDI_5, PDI_6, PDI_7, PDI_8은 각각 6월 상순, 5월 하순, 5월 중순, 5월 상순, 4월 하순, 4월 중순, 4월 상순, 3월 하순의 강수량관측자료에 의하여 결정한 강수지수들이다. 표에서 볼수 있는바와 같이 매 기간의 강수지수 *PDI*값은 서로 각이하며 이 지수들을 결합한 6월 상순의 강수지수 *MPDI*값은 35.69로서 비교적 작은 값을 가진다.

3. 식피물공급지수와 강수지수의 결합

가물은 일반적으로 여러가지 인자들의 작용하에 이루어지는 과정이다. 위성탐측자료로부터 얻어진 *NDVI*, 지표면온도와 함께 강수는 농업지역에서 가물과정을 유도하는 또 다른 주요인자라고 말할수 있다.

그러므로 론문에서는 가물평가를 위하여 위성탐측자료와 강수인자를 결합하기 위한

방법을 제기하였다.

*SDI*도 *NDVI*와 지표면온도로부터 계산하며 이전의 8개 기간의 강수자료로부터 *MPDI*를 계산한다. 다음 2개의 지수들을 결합하여 새로운 가물평가지수를 결정한다.

$$SADI = B_1 \times SDI + B_2 \times MPDI$$

여기서 B_1과 B_2는 각각 *SDI*와 *MPDI*의 무게들이다.

위성탐측자료는 제한된 기상관측자료보다 상세한 공간정보를 제공하기때문에 *MPDI*보다 *SDI*에 더 많은 무게를 준다. 이것을 고려하여 B_1과 B_2의 값을 B_1=0.6, B_2=0.4로 주었다. 또한 *MPDI*의 분해능을 위성탐측분해능으로 일치시키기 위하여 지리정보체계를 리용하여 공간세분화를 진행한다.

*SADI*의 값을 다음과 같은 5개 등급으로 나누어 가물상태를 평가하였다. 즉 1～15까지 심한 가물, 15～30까지 중간가물, 30～50까지 약한 가물, 50～70까지는 정상조건, 70～100까지는 습한 상태로 평가할수 있다.

결정된 가물지수와 토양습도관측자료와의 상관분석을 진행한데 의하면 상관결수가 0.89로서 높은 상관성을 가진다는것을 알수 있다.

2017년 6월에 관측된 위성탐측자료와 강수량관측자료를 리용하여 새로운 평가지수에 대한 평가실험을 진행하였다.

실험결과 2017년 6월 상순기간의 *SADI*의 특성을 보면 평균값은 64.25이고 값범위는 15.754～84.203이다.

우리 나라의 전반적지역에서 볼 때 심한 가물현상은 나타나지 않았고 오직 서해안지역과 동해안의 일부 지역, 함경북도의 일부 지역들에서 중간정도의 가물과 약한 가물현상이 나타났으며 그밖의 지방들에서는 정상상태에 있었다.

2017년 6월 중순기간의 *SADI*의 특성을 보면 평균값은 37.35이고 값범위는 5.173～74.152이다. 그리고 서해안의 일부 지역들에서 심한 가물현상이 나타났으며 가물현상은 전반적지역에로 확대되였다.

2017년 6월 하순기간의 *SADI*의 특성을 보면 평균값은 25.13이고 값범위는 5.981～69.559이다. 6월 하순에는 량강도와 자강도를 비롯한 북부내륙지역을 제외한 우리 나라의 전반적지역에서 가물현상이 나타났고 그 세기는 상순이나 중순보다 더 강해졌다.

맺 는 말

위성탐측자료를 리용한 가물평가지수와 강수량관측자료를 리용한 가물평가지수를 서로 결합하여 넓은 지역에서 가물상태를 정량적으로 비교적 정확히 평가할수 있다.

참 고 문 헌

[1] 정명호 등; 지질 및 지리과학, 1, 41, 주체104(2015).

[2] V. K. S. Mannava et al.; Agricultural Drought Indices, WMO/TD, 1572, 22, 2011.

[3] M. Gao; Sensors, 8, 4687, 2008.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Combination of the Satellite Data and the Precipitation Data in the Drought Assessment

Ryang Chol Ho, *Kim Kuk Chol*

A comprehensive index for assessment of drought was established from the normalized vegetation supply water index(VSWI) computed from satellite data and precipitation distance index (PDI) computed from ground-observed precipitation data.

Key words: drought, satellite, precipitation

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

로케트다중선원천살포방식에 의한 인공촉매제확산수치모의실험

김철, 김현우

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제11권 138～139페지)

오늘날 수치모의방법은 구름물리과정에 기초한 인공강우와 같은 어렵고 복잡한 문제해결에서 위력한 수단으로 되고있다.

론문에서는 콤퓨터모의기술을 리용한 로케트다중선원천살포방식에 따르는 인공촉매제확산과정의 수치모의실험정형에 대하여 서술하였다.

1. 최대확산반경과 확산시간

과랭각층상운속에서 선원천형태의 인공촉매제확산모의실험시 대기조건은 등방대기로 가정하며 립자호상간의 병합과정을 무시한다. 바람속도는 x축에 평행이고 초기에 확산은 균일하게 진행된다고 가정하면 주어진 초기 및 경계조건하에서 확산방정식은 다음과 같이 쓸수 있다.[1, 2]

$$q=\frac{Q}{4\pi Kt}\exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{4Kt}\right]\times\left\{\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{4Kt}\right]-\exp\left[-\frac{(z+H)^2}{4Kt}\right]\right\}\exp(-\alpha N_c)$$

여기서 q는 인공촉매제농도(개/L), Q는 단위선원천의 성핵률(개/m), K는 막흐름확산결수(m^2/s), u는 x축방향의 바람속도(m/s), t는 확산시간(s), H는 선원천확산높이(m), α는 구름물방울포획결수($\alpha=6\cdot10^{-12}$), N_c는 구름물방울농도($N_c=1.0\cdot10^8$)이다.

관측결과에 의하면 인공강우시 요구되는 구름속의 빙정수농도는 림계값이 q=10/L이다. 때문에 이 값을 인공촉매제살포에 의한 구름의 유효살포농도한계값으로 정하였다.

확산방정식에 의하면 막흐름확산결수 K와 바람속도 u가 주어질 때 임의의 시각에 로케트살포에 의한 인공촉매제의 확산범위를 알수 있다.

관측자료를 연구한데 의하면 층상운의 경우 막흐름확산결수는 10～40m^2/s, 적상운의 경우 80m^2/s이상의 값을 가진다.

모의실험에서는 각이한 막흐름확산결수(20, 40, 60, 80, 100m^2/s)들에 대한 요드화은의 시간에 따르는 확산곡선을 그림 1에 제시하였다.

그림 1로부터 인공촉매제의 확산범위는 시간에 따라 증가하는데 확산결수 K값의 크기와 촉매제확산반경의 크기는 정비례하며 K값이 커질수록 확산반경도 커진다는것을 알수 있다.

또한 K값의 크기와 최대확산반경에 도달하는 시간은 반비례하는데 즉 K값이 커질수록 최대확산반경에 도달하는 시간은 짧아진다.(표 1)

실례로 K=80 m^2/s일 때 38min 20s에 확산반경은 최대값 1 352m에 도달하며 1h 26min 38s에 농도가 10/L인 확산구역은 소산된다.

결국 막흐름확산결수가 80 m^2/s일 때 1발의 로케트탄살포시 10/L값을 가지는 유효확산구역은 약 1h 26min 38s정도 존재한다는것을 알수 있다.

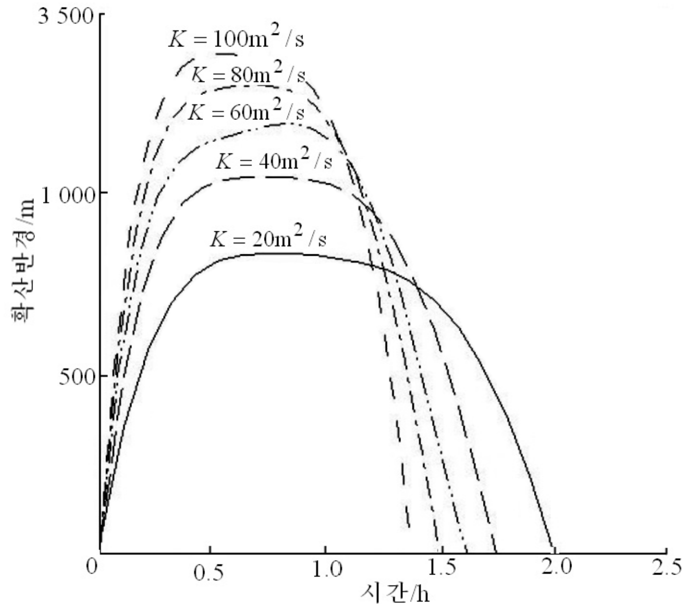


그림 1. 요드화은의 시간에 따르는 확산곡선

표 1. 막흐름확산결수에 따르는 최대확산반경 및 시간

막흐름확산결수 /($m^2 \cdot s^{-1}$)	최대확산반경/m	최대확산시간	소산시간
20	876.1	53min 20s	1h 56min 8s
40	1 095.0	45min 36s	1h 40min 1s
60	1 241.0	41min 40s	1h 31min 41s
80	1 352.0	38min 20s	1h 26min 38s
100	1 442.0	36min 40s	1h 21min 40s

2. 로케트살포시 인공촉매제확산특성

① 로케트의 발사방위협각확정

대상구름을 향하여 2기의 인공강우로케트를 발사할 때(그림 2) 발사각에 따르는 선원천들사이의 중첩효과를 고려하여 유효확산면적(10/L이상의 농도구역)이 하나로 련결되도록 방위협각(α)을 정확히 보장하는 문제는 작업방안설계시 중요한 요구의 하나이다.

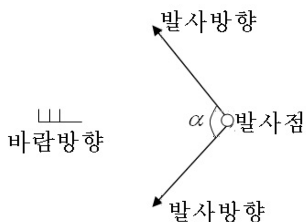


그림 2. 2기의 인공강우 로케트발사방식

인공촉매제확산마당은 대기중 막흐름확산결수의 영향을 크게 받는다. 때문에 우리는 각이한 막흐름확산결수(20～100 m^2/s)에 대하여 우의 확산방정식에 따라 발사고도각을 조종하는 방법으로 두 로케트탄사이 합리적인 발사방위협각 α를 계산하였다.

표 2에서 보는바와 같이 방위협각의 변화범위는 31～180°로서 매우 넓으며 확산결수가 일정할 때 고도각이 낮을수록 방위협각은 작다. 실례로 발사고도각 45°, 막흐름확산결수 20 m^2/s일 때 두발사이 발사방위협각은 최소 31°이며 발사고도각이 74°일 때 180°에 이른다. 이때 두 로케트의 발사방향은 서로 반대로 되여 바람방향과 수직을 이룬다.

표 2. 막흐름확산결수, 발사고도각에 따르는 발사방위협각(α)

발사고도각/(°)	막흐름확산결수 $K/(m^2 \cdot s^{-1})$				
	20	40	60	80	100
48	32	40	45	50	53
52	35	45	51	56	60
56	39	49	56	62	66
60	43	55	63	70	75
64	49	64	73	81	88
68	59	75	88	98	107
72	73	95	114	132	154
76	98	142	180	180	180
80	180	180	180	180	180
84	180	180	180	180	180

② 유효구름살포구역

인공촉매제살포에 의한 전체 영향구역면적을 확정하기 위하여 살포후 수농도 10/L이상인 살포구역의 이동루계면적을 지면에 투영하는 방법으로 해당 로케트의 유효구름살포구역을 계산할수 있다.

계산결과에 의하면 유효구름살포면적의 크기는 막흐름확산결수, 주변바람마당, 발사고도각과 밀접한 련관을 가진다. 즉 막흐름확산결수와 촉매제의 확산반경이 서로 비례하는것으로 하여 막흐름확산결수가 증가함에 따라 유효살포면적도 증가한다.

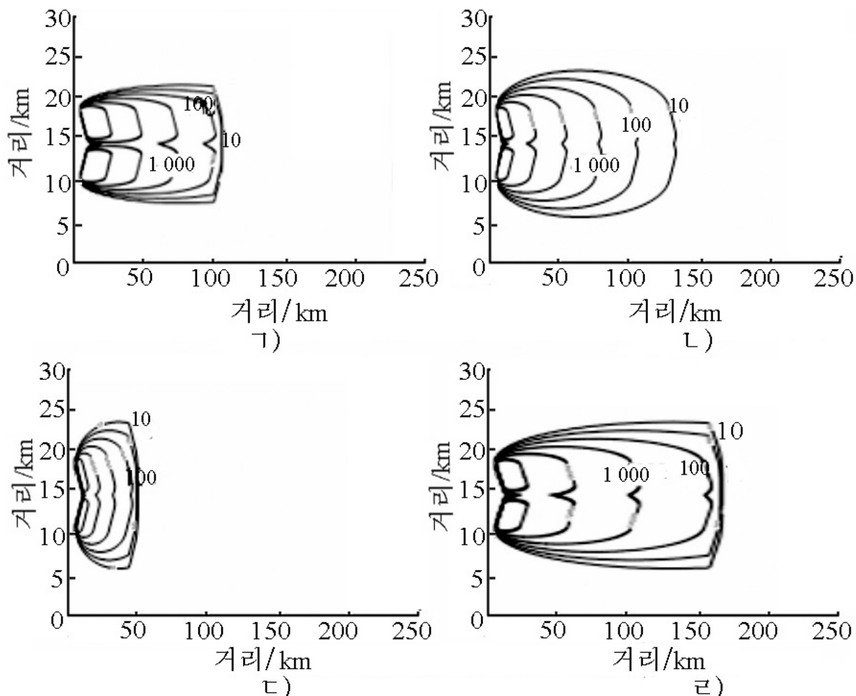


그림 3. 각이한 조건에 따르는 유효확산마당분포(발사고도각 60°)

ㄱ) $K=20m^2/s$, $u=10m/s$, ㄴ) $K=80m^2/s$, $u=10m/s$,

ㄷ) $K=80m^2/s$, $u=5m/s$, ㄹ) $K=80m^2/s$, $u=15m/s$

그림 3에서는 바람마당, 확산결수, 발사고도각과 확산구역에 대한 모의결과를 보여준다. 실례로 발사고도각이 60°, u=10m/s, 막흐름확산결수 K=20 m^2/s인 경우 확산구역폭이 좁고 확산거리가 길며 유효살포면적은 비교적 작다.

한편 K=80 m^2/s일 때 비교적 확산구역은 넓고 확산거리는 짧으며 유효구름살포구역면적은 K=20 m^2/s인 경우에 비해 훨씬 넓다.

확산결수와 바람속도가 변하지 않을 때 즉 K=20 m^2/s, u=10m/s일 때 발사고도각이 다르면 선원천길이도 각이하며 유효살포면적도 차이난다. 한편 바람마당은 확산구역내의 촉매제에 대한 수송작용을 일으킨다.

확산결수와 발사고도각이 일정할 때 실례로 K=80 m^2/s, 고도각 60°일 때 바람속도 u=5m/s하에서 인공촉매제의 확산거리는 100km이하이지만 10m/s이상일 때 확산범위는 150km까지 확장되여 유효구름살포구역면적도 확장된다는것을 알수 있다. 즉 바람속도가 2배이상이면 유효확산면적은 2배정도 증가한다. 보는바와 같이 바람마당의 세기는 유효구름살포구역면적의 크기에 영향을 주는 주요인자로 된다.

맺 는 말

로케트에 의한 인공촉매제살포시 막흐름확산결수가 클수록 확산반경은 커지며 최대확산반경에 도달하는 시간은 보다 짧아진다.

2기의 로케트발사시 발사고도각이 64～66°일 때 유효살포구름면적은 최대로 되며 특히 바람마당의 세기는 유효살포면적의 크기에 영향을 주는 주요인자로 된다.

참 고 문 헌

[1] 王晓玲 等; 气象学报, 60, 2, 205, 2002.
[2] 王以琳; 资源与环境, 23, 5, 46, 2013.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Artificial Agent Diffusion Numerical Simulation Experiment by Rocket Multi Line Source Seeding Method

Kim Chol, Kim Hyon U

In this paper, we analyzed the diffusion characteristics of artificial precipitation catalyzer in rainmaking project by rocket, and made the numerical experiments in the different environments in order to settle down the reasonable parameters that maximized the area of effective scattering clouds.

Key words: artificial rainfall, artificial agent

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

원격수감화상에서 K－S검정에 의한 단층예측의 한가지 방법

한광혁, 정철

경애하는 최고령도자 **김정은**동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리 나라의 지질조건과 탐사기술의 세계적발전추세에 맞게 우리 식의 앞선 지질탐사기술과 방법, 수단들을 연구개발하며 탐사에 널리 받아들이도록 하여야 합니다.》

원격수감화상에 의한 지질탐사는 탐사원가를 줄이고 탐사속도를 높일수 있는것으로 하여 세계적으로 널리 리용되고있다.

원격수감화상과 음영기복화상을 리용하여 선형구조를 추출하고 그것에 기초하여 단층을 예측하기 위한 연구[1, 2]가 많이 진행되였다.

론문에서는 K－S검정을 적용하여 원격수감화상에서 단층을 예측하기 위한 한가지 방법을 제기하고 ㅅ철광상구역에 적용하여 축척 1∶50 000 지질조사에서 알려지지 않은 단층들을 예측하였다.

1. ㄱ지역에 발달하는 단층구조의 방위분포특징

ㅅ철광상이 포함되여있는 ㄱ지역에 발달하는 단층들은 북서, 북남, 북동계렬의 단층들로서 형성시기는 고원생대, 고생대, 중생대, 신생대이다.

철광체가 고원생대지층속에 있으므로 축척 1∶50 000 지질도에 반영된 단층들을 추출하고 고원생대와 그 이후시기 단층들을 구분하여 장미원도를 작성하였다.(그림 1)

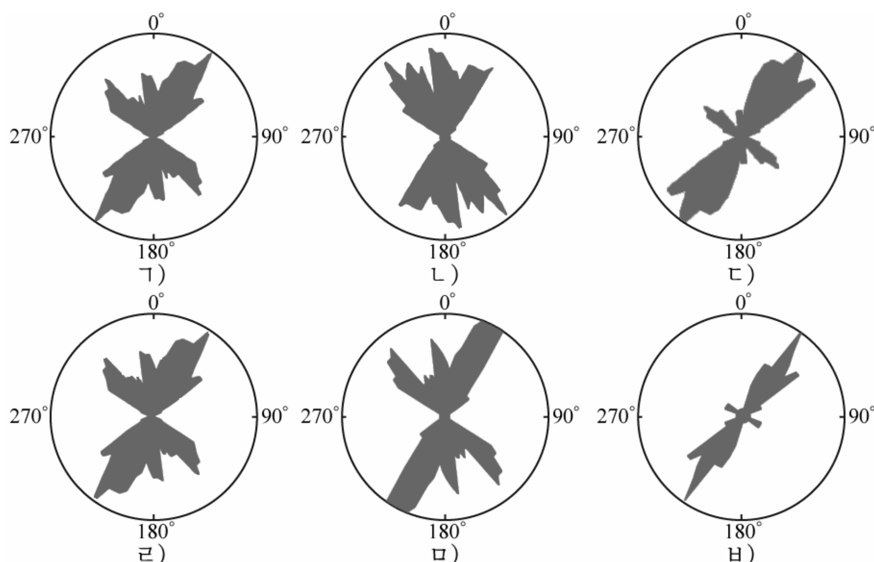


그림 1. ㄱ지역에 발달하는 주요단층들의 주향장미원도
ㄱ) 고원생대+고원생대이후, ㄴ) 고원생대, ㄷ) 고원생대이후,
ㄹ) 정단층, ㅁ) 역단층, ㅂ) 평이단층

ㄱ지역에 발달하는 단층들의 방위분포특징은 다음과 같다.

① 고원생대에 형성된 단층들은 북북서, 북남, 북북동계렬의 단층들이다.

② 고원생대이후에 형성된 단층들은 북동계렬과 일부 북서계렬의 단층들이다.

③ 평이단층은 북동계렬의 단층들이다.

④ 정단층과 역단층은 북동, 북서, 북남계렬의 단층들이다.

이로부터 ㄱ지역에서 형성된 단층들은 형성된 이후 여러차례에 걸쳐 구조운동의 영향을 받았다는것을 알수 있다.

2. ㄱ지역에 발달하는 단층구조와 광상구역에서 나타나는 선형구조들사이의 류사성검정

우리는 2015년 5월 26일에 수집한 Landsat8_OLI화상에서 선분추적 및 회전변환알고리듬을 리용하여 광상구역에서 나타나는 선형구조들을 추출하였다.(그림 2)

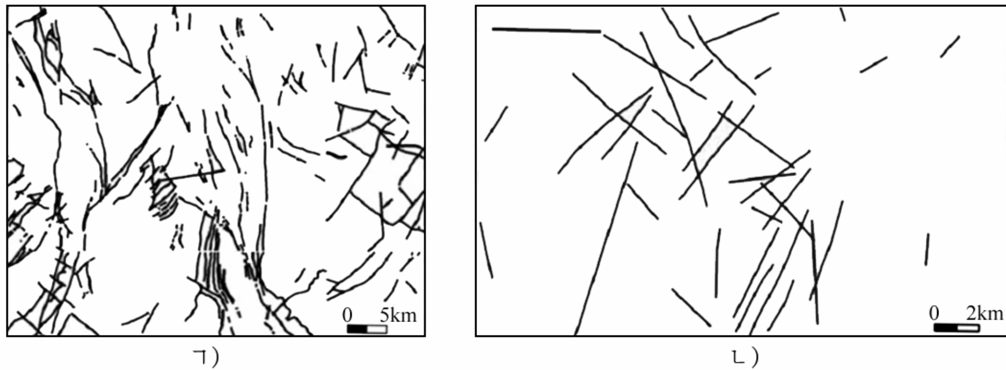


그림 2. ㄱ지역의 단층구조도(ㄱ))와 광상구역의 선형구조도(ㄴ))

추출한 선형구조들의 방위를 계산한 방위(0～180°)를 10°간격으로 나누어 방위에 따르는 선형구조들의 수와 길이를 계산하였다.

다음 이미 알려진 기복선과 수계자료들도 원격수감화상에서 선형구조로 나타나므로 기복선자료와 수계선자료에 대한 통계분석을 진행하였다.

또한 ㄱ지역에 발달하는 단층구조들과 광상구역에서 나타나는 선형구조들의 공간배렬이 류사한가를 K－S검정[3]에 의하여 판단하였다. 만일 두 자료모임들사이에 큰 차이가 없다면 두 자료모임들사이에는 호상련관이 있을수 있다.

K－S검정에서 검정통계량은 두 루적상대빈도수분포곡선들사이의 최대수직거리이다.

$$D_{m,\,n}=\max|F_m(X)-F_n(X)|$$

여기서 $F_m(X)$는 크기가 m인 표본에 대하여 관측된 루적빈도수분포이고 $F_n(X)$는 크기가 n인 표본에 대하여 관측된 루적빈도수분포이다.

K－S검정을 진행하면서 유의수준을 5%로 설정하고 검정통계량의 림계값을 다음의 식으로 계산하였다.

$$D_{림계}=1.36\sqrt{(m+n)/mn}$$

ㄱ지역과 광상구역의 선모임들에 대한 K－S검정결과는 표와 같다.

표. ㄱ지역과 광상구역의 선모임들에 대한 K－S검정결과

선모임	ㄱ지역	광상구역	D	$D_{림계}$	가설검정결과
기복선의 수/개	340	71	0.150 2	0.177 4	채택
수계의 수/개	392	92	0.089 5	0.157 5	채택
단층 및 선형구조의 수/개	402	36	0.204 3	0.236 5	채택

표에서 보는바와 같이 ㄱ지역 단층구조들과 광상구역에서 나타나는 선형구조들사이의 호상련관성이 크다는것을 알수 있다.

ㄱ지역에 발달하는 단층구조들의 방위가 30, 60, 150°이므로 광상구역에서 나타나는 선형구조들가운데서 이러한 방위를 가지는 선형구조를 단층으로 보고 야외조사를 진행하여 여러개의 단층들을 확증하였다.

맺 는 말

원격수감화상을 리용하여 선형구조들을 추출하고 K－S검정을 리용하여 축척 1∶50 000 지질조사에서 알려지지 않은 단층들을 예측할수 있는 한가지 방법을 제기하였다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학), 57, 1, 162, 주체100(2011).

[2] 한광혁 등; 인민대학습당통보, 3, 58, 주체105(2016).

[3] P. C. Fernandes da Silva; The Use of Remote Sensing Technique and Empirical Tectonic Models for Inference of Geological Structures: Bridging from Regional to Local Scales, Elsevier, 21～98, 2005.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

A Method of Fault Prediction by K-S Statistical Hypothesis Testing in Remote Sensing Image

Han Kwang Hyok, Jong Chol

In the paper, we established fault prediction method by K-S statistical hypothesis testing in the remote sensing image and applied to “ㅅ” iron deposit.

Key words: fault, lineament

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

지질대상콤퓨터지원설계체계에서 구조모형화방법

최광우, 김연호

경애하는 최고령도자 **김정은**동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《콤퓨터에 의한 탐사자료의 처리와 해석, 위성화상자료해석기술을 새롭게 연구도입하고 여러가지 응용프로그람들을 개발하여 지질탐사사업에 널리 리용하여야 합니다.》

현재 지질대상의 모형화에서 널리 리용되고있는 ArcGIS, AutoCAD, Surpac, 3DMine 등에서는 콤퓨터도형학의 원리에 기초하여 매우 유연한 모형을 작성할수 있지만 지질대상자체가 가지고있는 복잡성과 제한조건들, 물리적속성들을 고려할수 없다. 이러한 부족점을 극복하기 위하여 지질대상에 대한 이미 알고있는 정보, 기하학적특징과 물리적성질들을 동시에 모형화할수 있는 리산평활화보간(DSI)기술에 기초하여 지질대상콤퓨터지원설계(Geological Object Computer Aided Design：GOCAD)체계가 개발되였다.[1－3]

론문에서는 지질대상콤퓨터지원설계체계를 리용하여 지층과 단층을 결합한 구조모형화방법을 연구하였다.

1. 지질대상콤퓨터지원설계체계의 기능

지질대상콤퓨터지원설계체계에서는 다음과 같은 표준대상들을 리용하여 구조모형을 작성한다.

① 점모임(PointSet)(지층놓임요소, 탄성파해석점)

② 곡선(Curve)(단층선, 탄성파추적선 등의 선대상들)

③ 곡면(Surface)(지층, 단층, 부정합, 광체 등의 면대상들)

④ 살창(2D Grid)(정합된 지층면 등의 2차원대상)

⑤ 지층살창(SGrid)(2개이상의 3차원지층대상)

⑥ 립체살창(Voxet)(직6면체구역안에 있는 지층, 광체 등의 립체대상들)

⑦ 갱도(Channel)

지질대상콤퓨터지원설계체계에서 표준대상들과 지질자료들에 기초하여 다음과 같은 모형들을 작성한다.

① 추공(Wells): 추공위치, 암심자료, 만곡자료, 검층자료들을 리용하여 작성한다.

② 단층(Faults): 정단층과 역단층모형을 작성한다.

③ 지층(Horizons): 정합된 각이한 지층들의 모형을 작성한다.

④ 구조모형(Structural Model): 지층과 단층들의 결합모형을 작성한다.

⑤ 지질모형(Geological Model): 층서표와 각이한 지층과 광체사이의 호상관계모형을 작성한다.

⑥ 자름면 및 평면모형(2D Section & Maps): 각이한 모형작성결과들을 출력하는 모형이다.

지질대상콤퓨터지원설계체계에서 가장 중요한것은 수자화와 가시화이다.

하나의 3차원보기구역안에서 점, 선, 면형식으로 지층, 단층, 광체들을 수자화할수 있으며 각이한 지질대상들의 속성을 각이한 방식으로 현시할수 있다.

지질대상콤퓨터지원설계체계에서는 정확도가 서로 다르고 불규칙적으로 분포하는 복잡한 지질탐사자료들을 리용하여 지질대상의 기하학적형태와 물리적성질에 대한 보간을 진행할수 있다.

지질대상콤퓨터지원설계체계에서는 또한 자름면과 추공자료를 리용하여 모형을 작성할수 있고 단층과 지층을 결합한 복잡한 모형도 작성할수 있으며 불균일한 광체도 모형화할수 있다.

지질대상콤퓨터지원설계체계의 주요기능들을 종합하면 다음과 같다.

① 단층과 지층의 구조모형화
② 지층살창모형과 광체립체살창모형화
③ 추공작성 및 설계, 검층곡선분석
④ 지층들의 구조분석과 복원
⑤ 탄성파자료해석 및 저유층의 불확정성평가
⑥ 광체의 형태모의, 물성모의 및 조건모의
⑦ 균렬모의와 류체흐름모의

2. 구조모형화과정

지질대상콤퓨터지원설계체계에서 구조모형은 연구구역(직6면체구역)에서 지질학적으로 부합되는 곡면을 만들기 위하여 리용하는 지층과 단층들의 모임이다. 구조모형에 의하여 지층과 단층들사이의 모든 접촉관계를 확정할수 있다.

구조모형화작업흐름은 사용자에게 구조모형작성방법을 안내하는 과정이다. 즉 자료의 입력과 처리를 진행할수 있고 지층 및 단층에 대한 정보를 대화식으로 추가하여 모형을 수정하는 방법으로 모형화를 진행할수 있다.(그림 1)

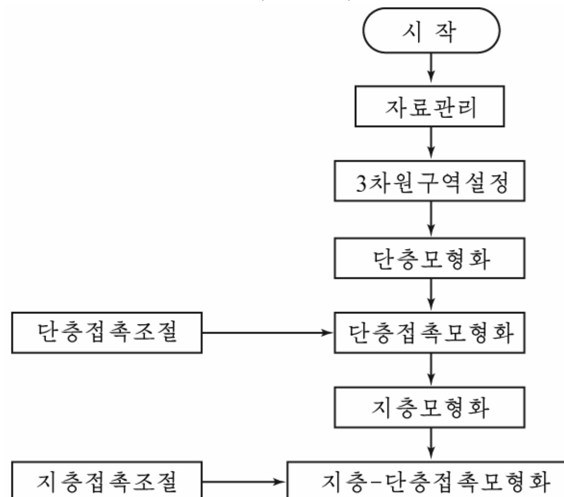


그림 1. 지질대상콤퓨터지원설계체계에서의 구조모형화작업흐름

구조모형화를 진행하기 위하여서는 먼저 수자화된 지질자료들을 입력하여야 한다.

① 지리정보체계 ArcGIS에서 수자화한 3D Shape화일을 GOCAD에 입력한다. 그러면 입력된 자료는 GOCAD의 표준대상들인 점모임 또는 곡선으로 된다. 실례로 광상점, 놓임요소와 같은 점벡토르는 점모임으로, 지형등고선, 단층과 같은 선과 지층면벡토르들은 곡선으로 입력된다.

② 추공자료인 경우 위치자료와 암심자료, 만곡자료, 표본자료를 표자료형식으로 작성하여 GOCAD에 입력한다.

먼저 수직추공과 경사추공의 만곡자료와 위치자료를 입력한다. 다음 암심자료를 리용하여 추공표식자를 작성하고 표본자료를 리용하여 추공속성정보를 추가한다.

③ 지질자름면 또는 탄성파시간자름면과 같은 화상자료들은 립체살창(Voxet)형식으로 입력한 다음 화상에서 4개의 지면조종점(GCP)들을 설정한다. 이러한 화상자료들에서 지층, 단층, 광체들의 위치를 직접 곡선으로 수자화한다.

④ 자료관리와 3차원구역설정단계에서는 입력자료 또는 수자화한 자료들을 분류하고 직6면체형식의 연구구역을 설정한다. 단층자료들은 경사방향과 경사각을 가진 단층중심선자료와 직접 단층면의 위치를 반영하는 단층접촉점자료 등으로 분류하며 지층자료에는 지층들의 놓임순서, 정합, 부정합관계를 설정한다.

⑤ 단층모형화와 단층접촉모형화단계에서는 연구구역에서 단층들의 이동특성(실례로 정단층, 역단층 등)과 호상결합관계(실례로 1차적인가, 2차적인가 등)에 기초하여 매 단층면들을 작성하고 단층들과 지층경계선사이의 접촉선들을 정의한다.

⑥ 지층모형화와 지층—단층접촉모형화단계에서는 지층들의 놓임순서, 정합, 부정합관계 등에 기초하여 지층면들을 작성하고 지층면과 단층면들의 접촉, 단층의 이동특성을 고려하여 지층면을 다시 보간한다.

어느 한 구역에서 얻은 추공자료에 기초하여 작성한 구조모형화결과는 그림 2와 같다.

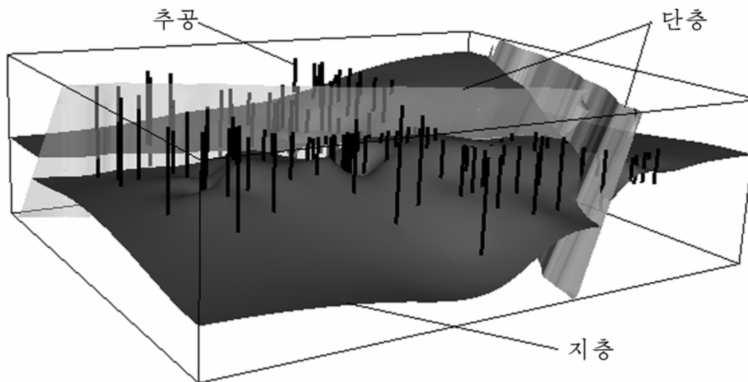


그림 2. GOCAD에서의 구조모형화결과

맺 는 말

지질대상콤퓨터지원설계체계에서는 ArcGIS에서 수자화한 지질자료를 점모임, 곡선, 화상으로 입력할수 있으며 여러가지 지질학적조건들을 고려하여 복잡한 지질구조들을 보다 정확하게 묘사할수 있다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학), 58, 11, 171, 주체101(2012).
[2] T. Schmiedel et al.; International Journal of Earth Sciences, 2, 323, 2015.
[3] 刘聪元 等; 资源环境与工程, 8, 14, 534, 2014.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Structural Modeling Approach in GOCAD

Choe Kwang U, Kim Yon Ho

In GOCAD, the geological data digitized in ArcGIS can be imported as point sets, curves, and images and complex geological structures can be more accurately described by considering various kinds of geological constraints.

Key words: GOCAD, ArcGIS, structural modeling

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

개선된 립자무리최량화방법에 의한 복잡한 지질구조형의 자연전위이상해석

박 경 훈

선행연구[1, 2]에서는 한 탐사자름면에 1개의 이상체가 있는 경우에 자연전위이상을 해석하였다.

한 탐사자름면에 2개이상의 이상체들이 존재하는 경우 포텐샬마당자료해석은 영상화에 의해서만 하는것으로 알려져있으며 기하학적파라메터추정법을 적용하자면 여러개의 이상들을 개별적으로 분리하여야 한다. 그런데 이상체들을 정확히 분리할수 있는 방법이 없는것으로 하여 해석자의 주관이 매우 심하게 작용한 결과 해석결과의 믿음성을 높일수 없었다.

론문에서는 립자무리최량화방법의 수렴속도와 정확도를 높일수 있는 한가지 방안을 제기하고 그것에 기초하여 한 탐사자름면에 여러개의 이상체들이 있는 복잡한 지질구조가 만드는 자연전위이상을 해석하였다.

1. 개선된 립자무리최량화방법의 원리

1) 표준립자무리최량화방법

탐색공간이 n차원이고 립자무리수가 M이며 i번째 립자의 n차원공간에서의 위치가 $\boldsymbol{p}_i=(p_{i1}, p_{i2}, \cdots, p_{in})$이고 비행속도가 $\boldsymbol{v}_i=(v_{i1}, v_{i2}, \cdots, v_{in})$이라고 하자.

매 립자들의 현재 위치 $\boldsymbol{p}$에 기초하여 적응도값 f_i를 계산한 다음 현재까지 매 립자들이 탐색한 가장 좋은 위치(립자최량위치) $\boldsymbol{P}_{\text{best}}$와 전체 무리가 탐색한 가장 좋은 위치(무리최량위치) $\boldsymbol{G}_{\text{best}}$를 확정한다.

매 립자들의 다음단계의 비행속도와 위치는 다음식들에 의하여 갱신한다.

$$\boldsymbol{v}_i^{k+1}=\omega\boldsymbol{v}_i^k+c_1r_1(\boldsymbol{P}_{\text{best}_i}-\boldsymbol{p}_i^k)+c_2r_2(\boldsymbol{G}_{\text{best}}-\boldsymbol{p}_i^k) \tag{1}$$

$$\boldsymbol{p}_i^{k+1}=\boldsymbol{p}_i^k+v_i^{k+1} \tag{2}$$

여기서 $\boldsymbol{v}_i^k$와 $\boldsymbol{p}_i^k$는 각각 i번째 립자의 k차반복에서의 비행속도와 위치, r_1과 r_2는 각각 0∼1사이에서 균등분포하는 우연수, c_1과 c_2는 가속도인자, ω는 속도조절인자로서 0∼1사이의 값을 가진다.

식 (1)에서 보는바와 같이 립자의 속도를 갱신하는데 관계되는 인자들은 속도조절인자, 가속도인자이다.

2) 개선된 립자무리최량화방법

립자의 속도는 립자들의 립자최량위치와도 관련된다. 초기단계에 매 립자들의 립자최량위치들은 서로 멀리 떨어져있지만 부단한 반복갱신과정을 거쳐 점차 무리최량위치(물론 무리최량위치도 계속 갱신됨)에로 접근하며 마지막단계에는 모든 립자들의 립자최량위치와 무리최량위치가 같아지게 된다.

만일 매 립자의 립자최량위치 $\boldsymbol{P}_{\text{best}}$ 대신에 무리의 평균립자최량위치를 리용한다면 립자들이 가지고있는 정보들이 서로 공유되여 무리의 동적특성이 보다 잘 반영될것이다. 이로부터 식 (1)에서 립자최량위치를 무리의 평균립자최량위치로 바꾸면 매 립자들의 비행속도를 다음의 식으로 결정할수 있다.

$$\boldsymbol{v}_i^{k+1} = \omega \boldsymbol{v}_i^k + c_1 r_1 (\boldsymbol{A}_{\text{best}} - \boldsymbol{p}_i^k) + c_2 r_2 (\boldsymbol{G}_{\text{best}} - \boldsymbol{p}_i^k) \tag{3}$$

$$\boldsymbol{A}_{\text{best}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} \boldsymbol{P}_{\text{best}\,i}$$

이 방법을 개선된 립자무리최량화방법(Average Best-position PSO: ABPSO)이라고 부른다.

2. 모형계산실험

1) 믿음성검증

제기한 방법의 믿음성을 검증하기 위하여 주향연장이 무한한 두꺼운 맥상형자연분극체가 만드는 자연전위이상을 표준립자무리최량화방법(SPSO)과 새로 제기한 방법(ABPSO)으로 해석하고 그 결과를 비교하였다.(그림 1) 이때 자료점수 51개, 자료점사이간격 1m, 머리부중심의 수평위치는 25m, 수직위치 5m, 경사각 60°, 심부연장길이 20m, 두께 2m, 분극세기 100mV, 립자무리수 60개, 최대반복수 5 000회, 가속도인자 $c_1 = c_2 = 2$, 속도조절인자의 변화한계를 [0.3, 0.9]로 설정하였다.

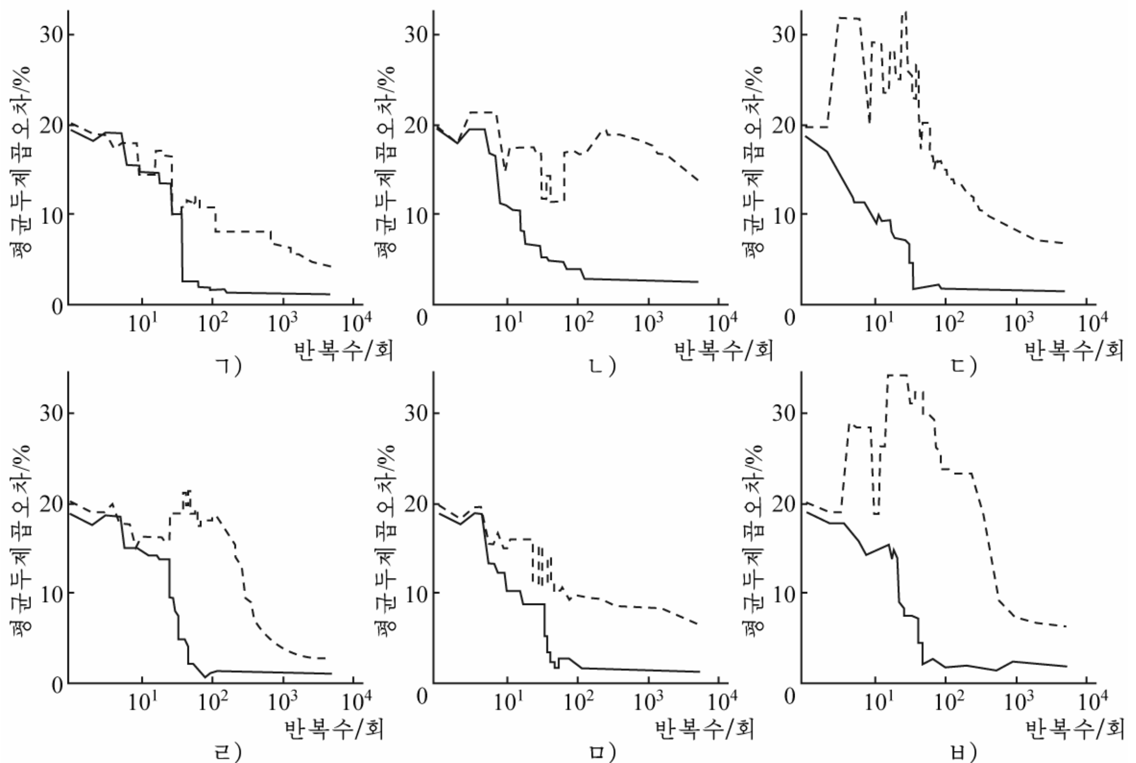


그림 1. 각이한 조건에서 SPSO법(점선)과 ABPSO법(실선)의 역문제풀이결과
ㄱ) 선형, ㄴ) 쌍곡선 2형, ㄷ) 우연수형, ㄹ) 카오스형,
ㅁ) 쌍곡선 1형, ㅂ) CR형

그림 1에서 보는바와 같이 ABPSO법은 SPSO법에 비하여 안정하면서도 빠른 수렴특성을 가지며 대역최량풀이탐색정확도가 높다.

2) 한 탐사자름면에 단층이 있거나 여러개의 이상체가 있는 경우

한 탐사자름면에 단층이 있거나 여러개의 이상체들이 있는 경우 이상체들사이의 거리가 가까울수록 호상간섭이 심하게 나타난다. 그러므로 이상체들사이의 호상간섭을 최대한 줄일수 있도록 측정자료함수를 설정하는것이 좋다.

선형속도조절방식의 경우 각이한 측정자료함수형에 따르는 역문제풀이평균상대오차는 그림 2와 같다.

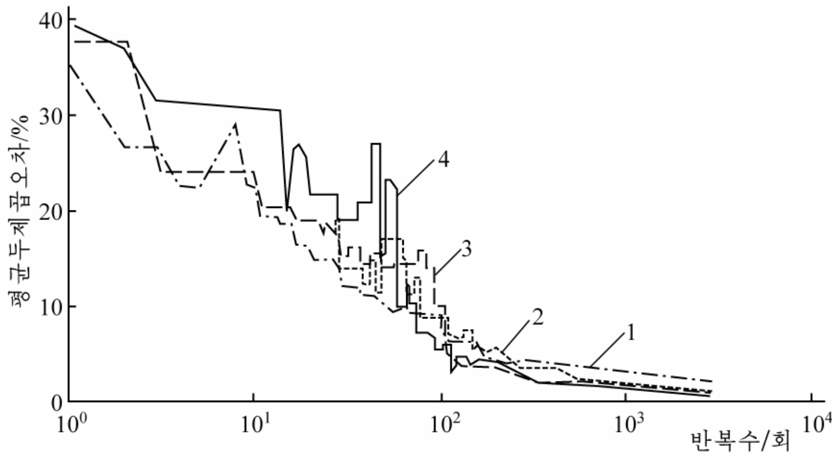


그림 2. 각이한 측정자료함수형에 따르는 역문제풀이평균상대오차
1－4는 측정자료함수가 각각 U, U_z, U_x, U_{xx}인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 평균상대오차가 제일 작은 함수는 수평2계도함수이다. 이로부터 한 탐사자름면에 단층이 있거나 여러개의 이상체가 있을 때 측정자료함수로 수평2계도함수를 리용하면 이상체들사이의 호상간섭에 의한 영향을 줄일수 있다는것을 알수 있다.

탐사자름면에 정단층과 역단층이 있는 경우 ABPSO법에 의한 역문제풀이결과는 그림 3과 같다.

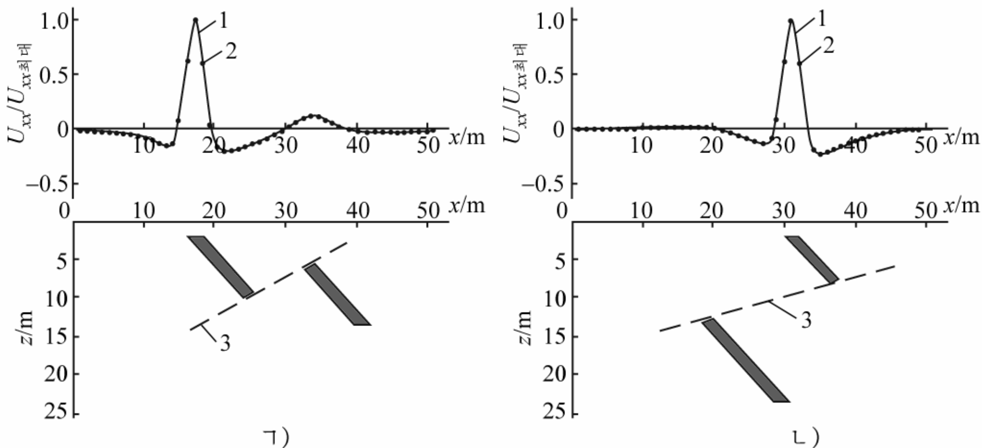


그림 3. 단층자름면에서 ABPSO법에 의한 역문제풀이결과
ㄱ) 정단층, ㄴ) 역단층; 1－리론곡선, 2－해석곡선, 3－단층선

그림 3에서 보는바와 같이 탐사자름면에 단층이 있는 경우 해석곡선과 리론곡선은 비교적 잘 일치한다. 그런데 역단층이 탐사자름면에 있는 경우 해석곡선에서 하반에 의한 이상이 잘 나타나지 않았다. 이로부터 야외조사자료를 해석할 때 연구지역의 지질을 고려하여 해석을 진행하여야 한다.

한 탐사자름면에 3개의 이상체가 있는 경우 SPSO법과 ABPSO법에 의한 역문제풀이결과는 그림 4와 같다. 이때 속도조절인자는 선형방식으로 감소시키고 매 파라메터들의 변화범위는 진값의 ±80%로, 최대반복수는 5 000회, 립자수는 30개, $c_1 = c_2 = 2$로 설정하였다.

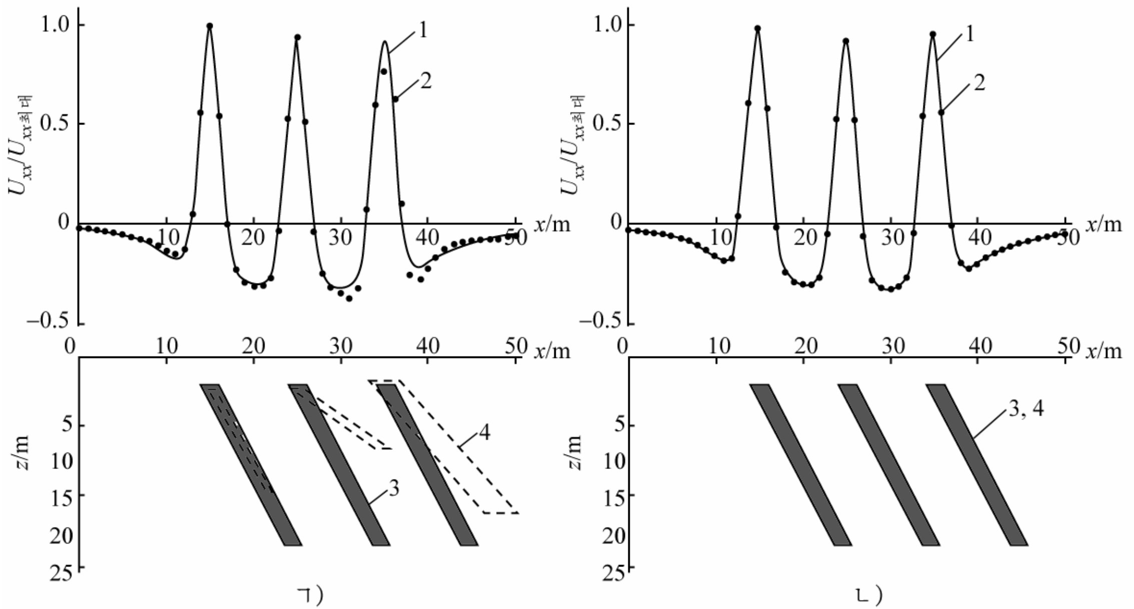


그림 4. 3개의 경사맥상체의 경우 해석결과
ㄱ) SPSO법, ㄴ) ABPSO법; 1—리론곡선,
2—해석곡선, 3—실제모형, 4—해석모형

그림 4에서 보는바와 같이 SPSO법에 비하여 ABPSO법에 의하여 얻은 해석모형은 실제모형과 완전히 일치하며 추정파라메터의 평균상대오차값은 0.003 55이다. 이로부터 이상체의 수가 많을수록 ABPSO법의 대역탐색능력이 SPSO법에 비하여 훨씬 좋다는것을 알수 있다.

3. 야외조사자료해석

탐사구역에는 중원생대 직현군층의 오봉주층과 제4기층이 분포되여있는데 탐사대상인 저열탄층은 오봉주층 상부층의 맨밑에 놓여있다.

탄층의 놓임상태에 기초하여 탐사선방향은 N 10°, 탐사선사이간격은 30∼50m, 측정점사이간격은 5m, 탐사선길이는 250m로 설정하고 자연전위탐사를 진행하였다.

탐사구역에서 얻은 자연전위이상곡선을 5m 우로해석연장하여 표준화하고 ABPSO법으로 해석하였다.(그림 5) 이때 립자수는 30개, 최대반복수는 5 000회, $c_1 = c_2 = 2$, $\omega_{max} = 0.75$,

$\omega_{min} = 0.35$ 로 설정하였다.

그림 5에서 보는바와 같이 해석곡선과 측정곡선은 비교적 잘 일치하며 3개의 이상체가 존재한다는것을 알수 있다. 또한 탐사구역에 존재하는 3개의 이상체들가운데서 왼쪽 이상체의 경사방향은 가운데이상체 및 오른쪽 이상체들의 경사방향과 반대이다. 즉 이상체들이 습곡구조의 영향을 받았다는것을 알수 있다. 탐사구역에 분포된 오봉주층이 배사구조를 이루고 있다는것을 고려할 때 해석모형이 탐사구역의 지질구조와 일치한다고 볼수 있다.

결정된 이상체들의 파라메터는 표와 같다.

표. 이상체들의 파라메터

이상체	x_0/m	z_0/m	α/(°)	l/m	b/m
왼쪽	110.2	9.03	106.07	66.55	9.5
가운데	168.5	3.53	75.44	12.12	4.04
오른쪽	216.8	4.51	81.85	29.81	5.43

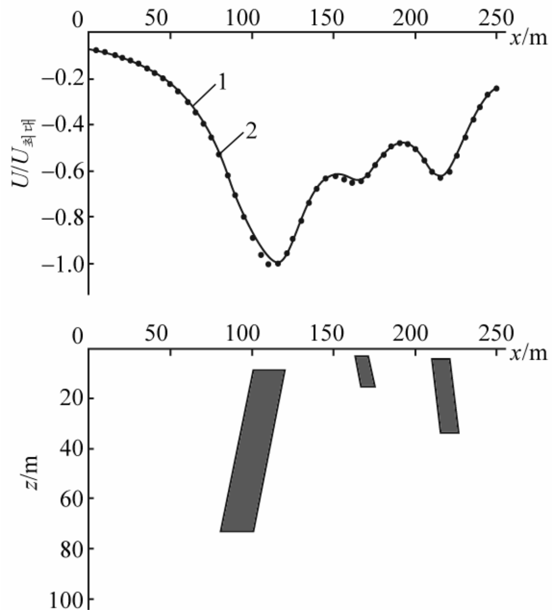


그림 5. ABPSO법에 의하여 얻은 해석자름면
1－측정곡선, 2－해석곡선

맺 는 말

ABPSO법은 수렴속도, 안정성과 정확도측면에서 SPSO법보다 우월하다.

ABPSO법은 한 탐사자름면에 여러개의 이상체가 있거나 지질구조가 복잡한 구역에서 진행한 탐사자료해석에도 적용할수 있는 최량화탐색방법이다.

참 고 문 헌

[1] Ertan Peksen et al.; Journal of Applied Geophysics, 75, 305, 2011.

[2] J. L. G. Pallero et al.; Journal of Applied Geophysics, 116, 180, 2016.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Interpretation of SP Anomalies with Complex Geological Structure by Improved PSO Method

Pak Kyong Hun

In this paper we newly presented the improved method that could heighten convergence rate of PSO and treated interpretative problems of SP anomalies with complex structure by multiple anomalous bodies in a profile. The reliability of method was verified through simulation and it was applied to SP anomaly measured in a district.

Key words: PSO, SP, average optimal position of particle

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

로자리유적의 자기마당분포특성

전준명, 김일남, 신태경

경애하는 최고령도자 **김정은**동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《가치있는 력사유적유물들을 더 많이 발굴하여 민족문화유산의 보물고를 풍부히 해나가야 합니다.》

유적발굴사업에서 로자리유적은 높은 자기적특성을 가지는것으로 하여 지자기마당조사의 명백한 대상으로 된다.[1, 3－5]

로자리유적에는 철이나 동을 뽑던 쇠부리터와 질그릇이나 도자기를 생산하던 가마터 그리고 소금을 구워내던 구이터 등이 있다.[2]

론문에서는 로자리유적들을 구조와 기하학적파라메터들의 특성에 따라 단순모형들의 집합체로 보고 그것들의 자기마당분포특성을 밝히고 지자기마당조사를 통하여 실지 구이터유적의 자기마당특성을 연구하였다.

1. 로자리모형의 자기마당분포특성

쇠부리터는 바닥과 벽체로 이루어졌는데 그것의 기하학적파라메터(놓임깊이 h_1, 깊이방향길이 h_2, 주향방향길이 $2b$, 너비 $2L$)와 모형형태는 표 1과 같다.

표 1. 쇠부리터의 기하학적파라메터와 모형형태

구분	기하학적파라메터				모형형태
	h_1/m	h_2/m	$2b$/m	$2L$/m	
바닥	2.0～3.0	0.01～0.10	1.0～1.5	1.0～1.5	얇은 수평판상체
벽체	1.0～2.0	2.0	0.2～0.4	1.0～1.5	두꺼운 수직판상체

쇠부리터의 자기마당은 바닥과 벽체들이 만드는 개별적자기마당들의 합과 같다. 쇠부리터모형의 자화률을 0.05SI, 잔류자화세기를 20A/m로 설정하였을 때 쇠부리터모형이 만드는 자기마당의 분포특성은 그림 1과 같다.

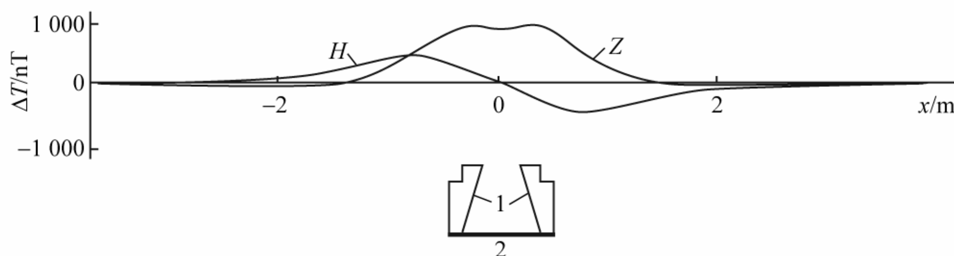


그림 1. 쇠부리터모형이 만드는 자기마당분포특성
1－벽체, 2－바닥

그림 1에서 보는바와 같이 Z곡선에서 2개의 봉우리(극대값)가 나타나는데 두 이상이 겹쳐 하나의 이상처럼 보인다.

가마터는 일반적으로 아궁자리, 바닥, 굴뚝자리, 가마칸벽, 가마칸천정으로 이루어졌는데 그것의 기하학적파라메터와 모형형태는 표 2와 같다.

표 2. 가마터의 기하학적파라메터와 모형형태

구분	기하학적파라메터				모형형태
	h_1/m	h_2/m	$2b$/m	$2L$/m	
아궁자리	2～3	0.8～1.0	1.0	1.5	두꺼운 수직판상체
바닥	2～3	0.1	10.0	2.0	얇은 수평판상체
굴뚝자리	1～2	0.5	0.5	0.5	구형체
가마칸벽	1～2	1.0	0.2	2.0	얇은 수직판상체
가마칸천정	1～2	0.2	10.0	2.0	얇은 수평판상체

가마터의 자기마당은 아궁자리, 바닥, 굴뚝자리, 가마칸벽, 가마칸천정이 만드는 개별적자기마당들의 합으로 나타난다. 가마터의 개별적모형들의 자기적특성값을 표 3과 같이 설정하였을 때 가마터모형이 만드는 자기마당의 분포특성은 그림 2와 같다.

표 3. 가마터모형의 자기적특성값

특성값	개별적모형				
	아궁자리	굴뚝자리	바닥	가마칸벽	가마칸천정
자화률/SI	0.10	0.10	0.05	0.10	0.050
잔류자화세기/(A·m^{-1})	30	20	5	10	5

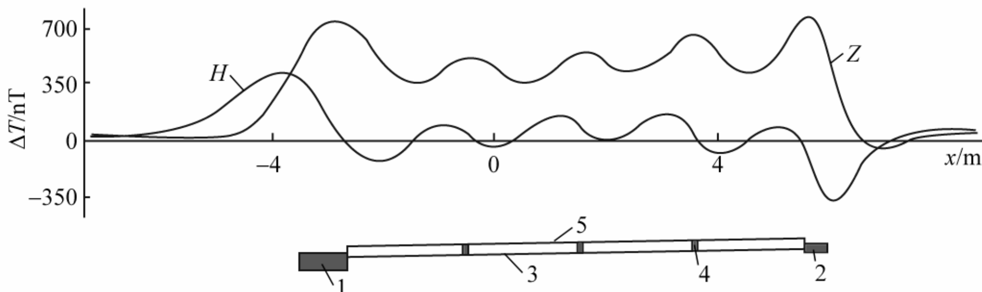


그림 2. 가마터모형이 만드는 자기마당분포특성
1－아궁자리, 2－굴뚝자리, 3－바닥, 4－가마칸벽, 5－가마칸천정

그림 2에서 보는바와 같이 아궁자리와 굴뚝자리가 만드는 자기마당의 세기가 가장 세다. 그리고 가마칸의 천정이나 바닥이 만드는 자기마당분포특성은 놓임깊이에 거꿀비례하는 경향성을 가지며 가마칸벽들이 만드는 이상들이 나타난다.

구이터는 아궁자리, 연도바닥과 연도천정, 구들자리, 굴뚝자리로 이루어졌는데 그것의 기하학적파라메터와 모형형태는 표 4와 같다.

표 4. 구이터의 기하학적파라메터와 모형형태

구분	기하학적파라메터				모형형태
	h_1/m	h_2/m	$2b$/m	$2L$/m	
아궁자리	1～2	0.5～1.0	1	1.0～1.5	두꺼운 수직판상체
연도바닥	1～2	0.05～0.1	5～10	0.5	얇은 수평판상체
연도천정	1～2	0.05～0.1	5～10	0.5	얇은 수평판상체
구들자리	1～2	0.5	1～2	1.0～1.5	두꺼운 수직판상체
굴뚝자리	1～2	0.5	0.5	0.5	구형체

구이터가 만드는 자기마당은 아궁자리, 연도바닥과 연도천정, 구들자리, 굴뚝자리가 만드는 자기마당의 합과 같다. 구이터의 개별적모형들의 자기적특성값을 표 5와 같이 설정하였을 때 구이터모형이 만드는 자기마당의 분포특성은 그림 3과 같다.

표 5. 구이터모형의 자기적특성값

특성값	개별적모형				
	아궁자리	구들자리	연도천정	연도바닥	굴뚝자리
자화률/SI	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10
잔류자화세기/($A\cdot m^{-1}$)	30	10	5	10	20

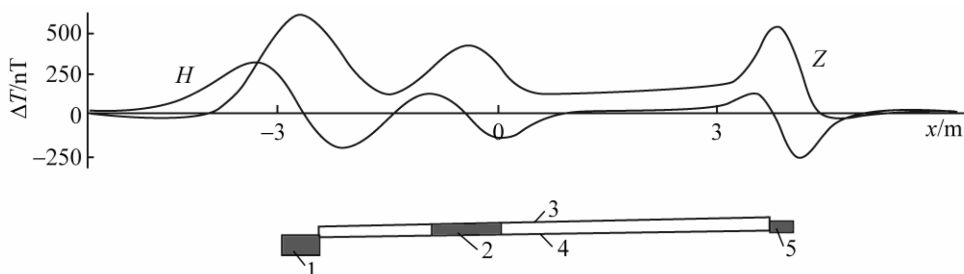


그림 3. 구이터모형이 만드는 자기마당분포특성
1－아궁자리, 2－구들자리, 3－연도천정, 4－연도바닥, 5－굴뚝자리

그림 3에서 보는바와 같이 아궁자리, 구들자리, 굴뚝자리에서 자기마당세기가 연도천정이나 연도바닥에 비하여 더 세다.

2. 고구려시기 소금구이터유적의 자기마당분포특성

온천군 원읍지구에서 발견된 고구려시기 소금구이터유적(그림 4)에 대한 지자기마당조사를 진행하였다.

유적의 크기는 길이 6.85m, 최대너비 3m, 최소너비 0.3m이고 묻힌 깊이는 굴뚝자리부분이 최대 1m정도, 아궁자리부분이 최대 1.5m정도이다.

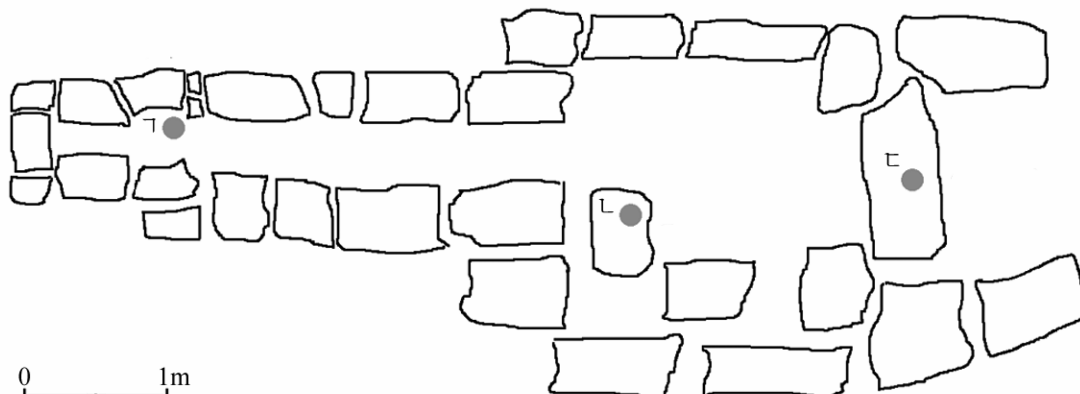


그림 4. 온천군 원읍지구에서 발견된 소금구이터유적
ㄱ－굴뚝자리, ㄴ－구들자리, ㄷ－아궁자리

분해능이 0.01nT인 자력계(《GSM-19》)를 리용하여 3수준수직구배측정방식으로 얻은 소금구이터유적의 자기마당세기완전성분수직구배등값선도는 그림 5와 같다.

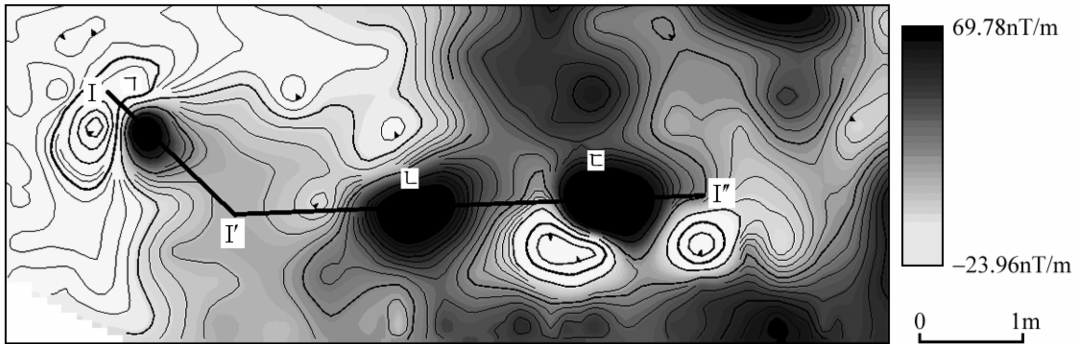


그림 5. 소금구이터유적의 자기마당세기완전성분수직구배등값선도
ㄱ, ㄴ, ㄷ는 그림 4와 같음

소금구이터유적에 대한 지자기마당조사결과에서 보는바와 같이 하나의 구이터유적에서도 전반적으로 높은 자기이상이 나타나는것이 아니라 아궁자리, 구들자리, 굴뚝자리와 같이 열이 집중되는 곳에서 높은 자기이상이 나타났다. 그리고 연도나 구들골을 비롯한 열이 통과하는 부분에서는 상대적으로 자기마당세기가 낮다.

발견된 소금구이터유적과 구이터모형의 자기마당세기완전성분수직구배곡선을 비교하였다.(그림 6)

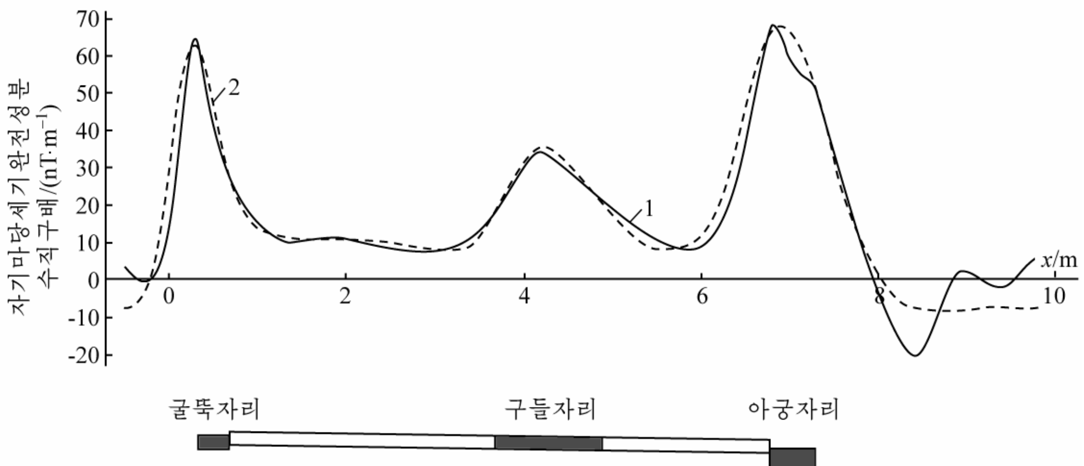


그림 6. 소금구이터유적과 구이터모형의 자기마당세기완전성분수직구배곡선
1—측정곡선, 2—모형곡선

그림 6에서 보는바와 같이 소금구이터유적과 구이터모형의 자기마당세기완전성분수직구배곡선의 상관성은 매우 높다.

맺 는 말

로자리의 대표적인 유적들인 쇠부리터와 가마터, 구이터의 자기마당은 개별적인 모형들의 자기마당이 중첩되여 나타난다.

온천군 원읍지구에서 발견된 소금구이터유적에 대한 지자기마당조사를 통하여 로자리유적가운데서 오래동안 높은 온도의 열을 집중적으로 받은데서 뚜렷한 자기이상이 나타난다는것을 확증하였다.

참 고 문 헌

[1] 신태경 등; 자력탐사학, **김일성**종합대학출판사, 5～311, 주체104(2015).

[2] 최상준 등; 조선기술발전사 1, 과학백과사전종합출판사, 5～151, 1996.

[3] Tatyana N. Smekalova et al.; Magnetic Surveying in Archaeology More than 10 Years of using the Overhauser GSM-19 Gradiometer, Publishing House of The Polytechnical University, 8～67, 2008.

[4] A. I. Taha et al.; Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 11, 1, 51, 2011.

[5] K. D. Oyeyemi et al.; Journal of Environment and Earth Science, 5, 2, 148, 2015.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Feature of Magnetic Field Distribution of Kiln Site

Jon Jun Myong, Kim Il Nam and *Sin Thae Gyong*

The magnetic field of kiln sites finds expression in superposition of magnetic field of individual models.

We verified that the clear anomalies finded expression at the place hit by a high temperature for a long time in kiln site through the result of the geomagnetic survey upon Salt Kiln Site discovered in Wonup region of Onchon County.

Key words: relics investigation, kiln site, geomagnetic survey, magnetic field distribution

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

다항식회귀에 의한 자화률측정기의 교정방법

김영평, 허광혁

최근 세계적으로 여러가지 휴대용자화률측정기들이 개발되여 널리 리용되고있다.

우리는 광물, 암석의 자화률을 측정하는 수자식자화률측정기를 제작하고 다항식회귀를 리용하여 기구에 대한 교정을 진행하였다.

1. LC공진에 의한 자화률측정

자화률은 전용자화률측정기를 리용하거나 무정위자력계와 같은 자기마당측정기를 리용하여 측정한다.[1]

자화률측정기에는 기구내부에 있는 권선들사이의 전위차를 측정하는 감응식측정방식과 공진회로의 공진주파수나 주기를 측정하는 LC공진측정방식 등 여러가지 방식이 있다.

LC공진에 의한 자화률측정기는 권선과 콘덴샤를 리용하여 공진회로를 구성하고 공진주파수나 주기를 결정하여 자화률을 측정한다. 이 측정기는 회로가 간단하고 전력소모가 작으며 A/D변환소자를 쓰지 않고도 자화률을 정확히 측정할수 있는 우점을 가지고있다.[3]

권선의 감음방식에는 ㄷ자형방식과 고리형방식이 있다.(그림)

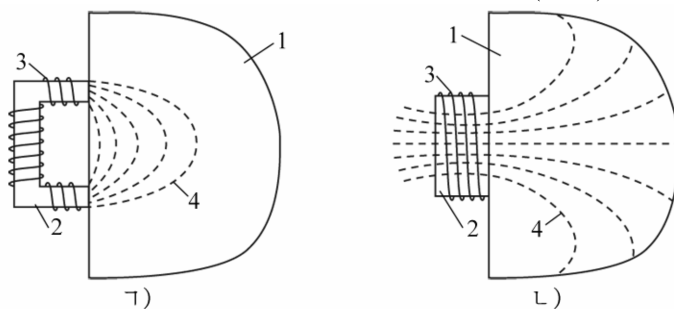


그림. 권선의 감음방식
ㄱ) ㄷ자형방식, ㄴ) 고리형방식;
1－측정매질, 2－철심, 3－동선, 4－자력선

ㄷ자형방식을 리용하면 자력선이 한방향으로 분포되므로 외부적인 장애를 적게 받고 자기이방성을 측정할수 있는 우점이 있다. 그러나 ㄷ자형방식은 권선의 크기를 크게 하기 힘들므로 주로 휴대용자화률측정기와 같은 물성측정장치에 리용한다.

철심은 용도에 따라 각이하게 선택할수 있는데 우리는 자기변형이 없는 파말로이철심을 리용하였다. 철심의 크기는 3cm×2cm로서 측정매질이 철심보다 2～3배정도 큰 경우에 자화률을 정확히 측정할수 있다.

권선의 유도도를 L, 콘덴샤의 전기용량을 C라고 하면 공진주기 T는 다음과 같이 표시된다.[2]

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \tag{1}$$

우리는 자화률측정기를 제작하면서 용량이 1μF인 콘덴샤와 유도도가 19mH인 ㄷ자형 권선을 리용하였는데 측정기를 매질에 가져다 대지 않았을 때의 공진주기는 $T_0 = 870\mu s$이다. 측정매질에 측정기를 가져다 대면 측정매질은 권선내부에 있는 철심과 함께 또 하나의 철심으로 작용하므로 권선의 유도도가 변화되고 그것에 따라 공진주기도 변한다. 이와 같이 공진주기의 변화를 측정하면 광물, 암석들의 자화률을 결정할수 있다.

2. 다항식회귀에 의한 자화률측정기의 교정

자화률측정기에 리용된 권선의 유도도는 다음의 식으로 표시된다.[2]

$$L = N^2 \Bigg/ \left(\frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 S_2} \right) \tag{2}$$

여기서 N은 권회수, μ_2, l_2, S_2는 각각 철심의 투자률과 길이, 자름면면적이고 μ_1, l_1, S_1은 측정매질의 투자률과 길이(권선과 닿는 두 점사이의 직선길이), 자름면면적이다.

식 (2)에서 μ_1을 제외한 모든 량들은 일정한 값을 가지므로 μ_1이 커질 때 L도 커진다. $L = T^2/(4\pi^2 C)$이고 $\mu_1 = \mu_0(1+\mathscr{H})$이므로($\mu_0$은 공기의 투자률)[2] $\mathscr{H}$와 T사이의 관계를 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\mathscr{H} = \sum_{i=0}^{n} a_i T^i \tag{3}$$

식 (3)에 의하여 자화률측정기구를 교정할수 있다.

회귀결수 a_i를 결정하기 위하여 우선 어느 한 지역에서 채취한 8개 표본의 자화률을 측정속도가 빠르고 정확도가 높은것으로 하여 세계적으로 널리 쓰이는 자화률측정기(《SM－30》)[4]로 측정하였다. 다음 제작한 자화률측정기를 가지고 매 표본에 대하여 공진주기 T_j를 결정하고

$$\Delta = \sum_{j=1}^{8} \left(\sum_{i=0}^{n} a_i T_j^i - \hat{\mathscr{H}}_j \right)^2 \tag{4}$$

이 최소로 되도록 다항식회귀분석을 진행하였다.(표)

표. 다항식회귀분석결과

표본	$T/\mu s$	$\hat{\mathscr{H}}/(\times 10^{-5}\text{SI})$	$\mathscr{H}/(\times 10^{-5}\text{SI})$			
			1차회귀	2차회귀	3차회귀	4차회귀
공기	870.105	0	−7 462	2	−20	42
석회암	874.943	1 516	−3 385	1 549	1 543	1 527
휘석	891.096	6 066	6 010	5 995	6 011	5 929
각섬석	919.922	27 422	35 263	27 710	27 719	27 763
크롬철광	929.613	35 004	42 670	35 098	35 096	35 144
자류철광	936.074	42 586	48 955	41 967	41 955	41 984
티탄철광	955.457	60 909	64 441	61 240	61 208	61 131
자철광	989.998	106 528	93 539	106 485	106 490	106 510
	ε/%		18.1	0.5	0.5	0.5

표에서 보는바와 같이 회귀방정식의 차수가 2차이상부터는 차수가 커져도 오차가 줄지 않는다. 이로부터 2차회귀방정식 $\mathscr{H} = 3\ 483\ 760 - 8\ 303.4T + 4.9T^2$ 에 의하여 제작한 자화률측정기를 교정하였다.

맺 는 말

자화률측정기를 LC공진방식에 기초하여 제작하고 8개의 표본에 대한 측정 및 다항식회귀분석을 통하여 공진주기와 자화률사이의 관계를 나타내는 교정식을 얻었다. 그 결과 자화률측정기에서 교정에 의한 오차를 0.5%정도로 보장하였다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학), 61, 8, 143, 주체104(2015).
[2] 신태경 등; 자력탐사학, **김일성**종합대학출판사, 29～44, 주체106(2017).
[3] 전봉필 등; 수감부와 그 응용, **김일성**종합대학출판사, 95～97, 주체99(2010).
[4] 苏永军 等; 地质调查与研究, 38, 3, 215, 2015.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Calibration of Magnetic Susceptibility Meter by Polynomial Regression

Kim Yong Phyong, Ho Kwang Hyok

In this paper, polynomial regression was applied to the calibration of magnetic susceptibility meter, and then analyzing the relation between resonance cycle and magnetic susceptibility, obtained second regression and result used to the calibration equation of the device.

Key words: magnetic susceptibility meter, polynomial regression, calibration

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

ㅇ지구 함자철편마암의 화학조성상특징과 시원암석복원

오충남, 백일남

나라의 지하자원을 종합적으로 개발리용하자면 고품위광석뿐아니라 저품위광석에 대한 연구도 심화시켜야 한다.

연구지역은 지체구조적으로 평남요곡지 해주침강대의 안악—신천돌출대 북쪽에 자리잡고있으며 층서적으로는 신시생대 랑림층군과 제4기층만이 넓게 분포되여있다. 함자철편마암층은 신시생대 랑림층군에 들어있으며 암석학적특징에 따라 함자철흑운모편마암, 함자철흑운모석류석편마암, 함자철흑운모각섬석편마암, 함자철흑운모휘석석류석편마암으로 분류할수 있다.

론문에서는 ㅇ지구에 분포하는 저품위함자철편마암들의 화학조성상특징을 고찰하고 그것에 기초하여 시원암석에 대한 복원을 진행함으로써 그것의 시원물질원천을 해명하였다.

1. 함자철편마암의 화학조성

연구지역 함자철편마암의 화학조성상특징을 평가하기 위하여 제일 밑층에서 우로 올라가면서 분층별로 즉 함자철흑운모편마암, 함자철흑운모석류석편마암, 함자철흑운모각섬석편마암, 함자철흑운모휘석석류석편마암에 대한 화학조성분석을 진행하였다.

분층별 함자철편마암들의 화학조성은 표 1과 같다.

표 1. 분층별 함자철편마암들의 화학조성(%)

구분	SiO_2	TiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	FeO	Fe_2O_3	P_2O_5	MnO
함자철흑운모편마암	53.56	6.72	2.09	2.75	15.1	1.94	3.85	3.45	0	0	0
함자철흑운모석류석편마암	56.32	0.79	2.11	2.86	19.95	3.54	3.18	3.83	2.73	0	0
함자철흑운모각섬석편마암	53.94	0.71	2.02	3.09	20.52	4.15	1.79	6.3	7.34	0	0
함자철흑운모휘석석류석편마암	57.55	0.67	2.57	3.57	19.07	4.37	2.18	4.82	4.06	0.08	0.11

표 1에서 보는것처럼 FeO의 함량은 함자철흑운모각섬석편마암에서 제일 많고 함자철흑운모편마암에서 제일 적다.

또한 함자철흑운모편마암에서 TiO_2의 함량이 제일 많고 Al_2O_3의 함량이 제일 적은 특성을 나타낸다.

함자철흑운모휘석석류석편마암에서는 다른 함자철편마암들에서 나타나지 않는 P_2O_5, MnO가 적은 량으로 관찰되는것이 특징적이다.

2. 함자철편마암의 시원암석복원결과

편마암은 주로 높은 단계의 지방변성작용을 받은 대표적암석이다. 변성암의 시원암석을 복원하는 방법에는 여러가지가 있지만 암석의 특징이나 복원방법들의 우결함 등에 의하여 분석오차가 생길수 있으므로 여러가지 도표를 리용하여 얻어진 결과들을 종합해석하는 방법으로 변성암의 시원암석을 복원하고있다.[2]

론문에서는 변성암의 시원암석을 복원하는데서 효과적인 니그리법, (al+fm)−(c+alk)−si 도표, AKF도표에 의한 방법들을 리용하여 연구지역 함자철편마암의 시원물질원천을 해명하였다.

1) 니그리법에 의한 시원암석복원

니그리특성수로 4면체도표를 만들고 그것에 의하여 변성암의 원암이 화성암인가 퇴적암인가를 구분할수 있다.[2] 니그리법을 적용하기 위하여 산화물분석자료로부터 암석화학적지수들을 계산하였다.(표 2)

표 2. 니그리법에 적용되는 암석화학적지수들

암석화학적 지수	함자철편마암			
	함자철흑운모 편마암	함자철흑운모 석류석편마암	함자철흑운모 각섬석편마암	함자철흑운모휘석 석류석편마암
Al′	148.095	195.663	205.253	187.032
FM	178.368	192.672	239.199	216.262
C′	37.268	37.625	36.020	45.828
AlK	82.713	88.889	72.938	81.566
Σ	446.446	154.850	553.411	530.688
al	33.172	38.003	37.088	35.243
fm	39.952	37.423	43.222	40.751
c	8.347	7.308	6.508	8.635
alk	18.527	17.265	13.179	15.369
Σ	100	100	100	100
c+fm	48.300	44.731	49.731	49.386
c/fm	0.208	0.195	0.151	0.212

표 2에 제시된 암석화학적지수들을 리용하여 얻은 니그리법에 의한 시원암석복원결과는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 니그리법으로 시원암석을 복원한 결과 함자철편마암들은 기본적으로 점토질퇴적암구역에 놓이면서 화성암구역과의 경계에 치우치는 경향성을 나타낸다.

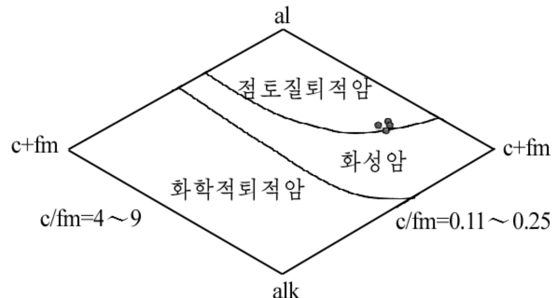


그림 1. 니그리법에 의한 시원암석복원결과

2) (al+fm)－(c+alk)－si도표에 의한 시원암석복원

이 도표는 니그리특성수에 기초하여 변성암의 원암이 퇴적암이나 화성암인가를 구분하는데서 매우 효과적이다.[1] 이 도표를 리용하기 위하여 암석화학적지수들을 계산하였다.(표 3)

표 3. (al+fm)－(c+alk)－si도표에 적용되는 암석화학적지수들

암석	si	(al+fm)－(c+alk)
함자철흑운모편마암	199.669	46.250
함자철흑운모석류석편마암	182.063	50.853
함자철흑운모각섬석편마암	162.219	60.622
함자철흑운모휘석석류석편마암	180.487	51.989

(al+fm)－(c+alk)－si도표에 의한 시원암석복원결과는 그림 2와 같다.

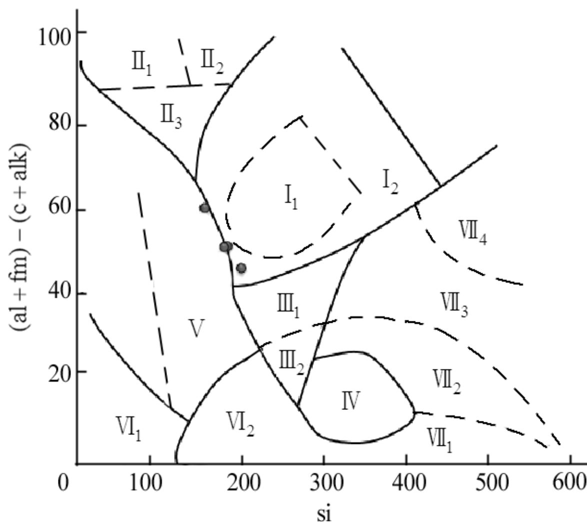


그림 2. (al+fm)－(c+alk)－si도표에 의한 시원암석복원결과

Ⅰ1－수운모질 및 몬모릴론석질점토, Ⅰ2－점토질암석, Ⅱ1－보크사이트, Ⅱ2－고령석질점토, Ⅱ3－화학적철질퇴적물, Ⅲ1－사질점토퇴적물, Ⅲ2－사질점토퇴적물과 산성분출암의 응회암, Ⅳ－화강암질암석, Ⅴ－염기성 및 중성분출암과 그 응회암, Ⅵ1－탄산염암, Ⅵ2－탄산염물질이 혼합된 륙원성암석, Ⅶ1－장석사암, Ⅶ2－잘 분화되지 못한 장석질사암퇴적물, Ⅶ3－점토－사질퇴적물, Ⅶ4－잘 분화된 사질퇴적물

(al+fm)－(c+alk)－si도표를 리용한 시원암석복원결과에 의하면 함자철편마암들은 점토질암석구역과 염기성분출암, 부분적으로 중성분출암과 그 응회암구역과의 경계에 놓인다.

3) AKF도표에 의한 시원암석복원

이 방법은 변성된 분출암들과 퇴적암들의 일차적특성과 조성, 진화 등에 대한 문제들을 해석하는데서 효과적이다.[1, 2]

AKF도표를 리용하기 위하여 암석화학적지수들을 계산하였다.(표 4)

표 4. AKF도표에 적용되는 암석화학적지수들

암석명	A	K	F
함자철흑운모편마암	28.113	－41.522	0.115
함자철흑운모석류석편마암	69.148	－13.726	0.167
함자철흑운모각섬석편마암	92.294	15.176	0.310
함자철흑운모휘석석류석편마암	59.637	11.219	0.216

AKF도표에 의한 시원암석복원결과는 그림 3과 같다.

AKF도표를 리용한 시원암석복원결과를 보면 AF마당(기본마당)에서 3건은 사질점토구역에 놓이고 1건은 수운모질규암구역에 놓인다. 그리고 KF마당(보조마당)에서 1건은 염기성암구역에 놓이고 3건은 초염기성암구역에 놓인다.

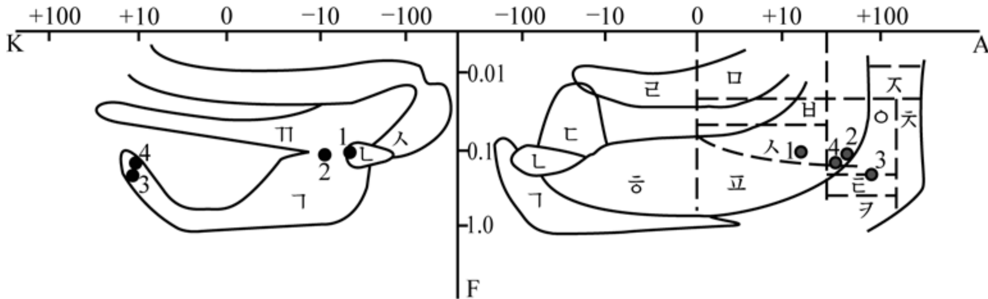


그림 3. AKF도표에 의한 시원암석복원결과

ㄱ－초염기성암, ㄴ－염기성암, ㄷ－섬장암과 알카리섬장암 및 그 분출암, ㄹ－섬록암, 사장석화강암과 그 분출암(영안암), ㅁ－장석견운모질규암, ㅂ－다광쇄설암, ㅅ－사질점토, ㅇ－수운모질규암, ㅈ－고령석질점토, ㅊ－보크사이트질점토, ㅋ－질석점토, ㅌ－몬모릴론석질점토, ㅍ－염기성, 초염기성암석들의 혼합된 풍화산물, ㅎ－염기성, 초염기성응회암, ㅠ－산성, 중성응회암; 1－함자철흑운모편마암, 2－함자철흑운모석류석편마암, 3－함자철흑운모각섬석편마암, 4－함자철흑운모휘석석류석편마암

3개의 도표를 리용하여 연구지역의 함자철편마암들에 대한 시원암석복원을 진행한 결과 이 지역에 분포되여있는 함자철편마암들은 주로 륙성기원의 점토질, 사질암석들과 부분적으로 해저분출환경에서 형성된 초염기성, 염기성응회암들이 혼합된 퇴적물이 지방변성작용을 받은 결과에 형성되였다고 볼수 있다.

맺 는 말

연구지역의 함자철편마암들중에서 철함량은 함자철흑운모각섬석편마암에서 제일 많고 함자철흑운모편마암에서 제일 적다.

함자철편마암들은 륙성기원의 점토질, 사질암석들과 해저분출환경에서 형성된 초염기성, 염기성응회암들이 혼합된 퇴적물이 지방변성작용을 받은 결과에 형성되였다고 볼수 있다.

참 고 문 헌

[1] **김일성**종합대학학보(자연과학), 50, 7, 166, 주체93(2004).

[2] Y. Xiuqing et al.; Ore Geology Reviews, 73, 42, 2016.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Chemical Composition and Reconstruction of Primitive Rock of Magnetite−Bearing Gneiss in "ㅇ" District

O Chung Nam, Paek Il Nam

Among the magnetite−bearing gneisses in research area, the iron is included in the magnetite −bearing biotite−amphibole gneiss mostly, and is included the magnetite−bearing biotite gneiss leastly.

The magnetite−bearing gneisses could be formed due to resulting from regional metamorphism for the mixed sedimentary materials of the argillaceous, arenaceous rocks of terrestrial origin and ultramafic, mafic tuffs of submarine volcanic environment.

Key words: magnetite−bearing gneiss, primitive rock

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

조석평원에서 지하초염수의 생성가능성에 대한 연구

리호영, 김룡흥

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 나라의 원료와 연료, 동력자원을 전반적으로 조사장악하고 그것을 널리 개발리용하여야 합니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제11권 134～135페지)

해안대 제4기층에 분포되여있는 지하초염수자원을 적극 개발하여 나라의 경제발전과 인민생활향상에 효과적으로 리용하기 위하여서는 그것의 생성가능성을 정확히 밝혀 지속적으로 개발할수 있는 기초를 마련하여야 한다.

우리는 해안대 조석평원에서의 모의실험결과에 기초하여 지하초염수의 생성가능성을 확증하였다.

연구지역의 조석평원은 퇴적해안조석평원으로서 평균폭이 4km정도로 매우 넓으며 기후조건도 초염수형성에 유리하다.[1] 간조때 조석평원의 잔류바다물염도는 3°Be′정도이지만 해가 잘 비치는 낮에는 4°Be′이상으로 급격히 높아진다.

먼저 조석평원의 시험갱정에서 퇴적층의 깊이에 따르는 온도와 염도를 관측하였다.(표 1)

표 1. 퇴적층의 깊이에 따르는 온도와 염도

깊이/cm	온도/℃	염도/°Be′
20	15.5	3
40	15	3
60	14	3
80	13.5	3
100	13	3

관측결과 퇴적층의 깊이가 깊어짐에 따라 온도는 낮아지지만 염도는 변화되지 않았다. 시험갱정은 월평균 만조선부근에 1m×1m×1m의 갱정을 파고 갱정안에 비닐로 물이 새지 않게 막은 다음 80cm두께의 퇴적물을 채워넣는 방법으로 설치하였다.

연구지역에서는 만조와 간조가 두번씩 나타나는데 간조때 밀물은 시험갱정안에 20cm 깊이정도 차있게 된다. 시험갱정으로부터 5m 거리를 두고 대비갱정을 설치하였다. 대비갱정의 깊이는 50cm로 하였다. 지하초염수형성에 미치는 담수의 영향을 확인하기 위하여 조석평원으로 흘러드는 하천주변에도 시험갱정을 설치하였다.[2]

다음으로 조석평원과 하천주변의 모든 시험갱정들에서 간조때 바다물의 염도와 물깊이변화를 일별로 련속관측하였다.

관측결과 조석평원에서 루수량은 4mm/h정도, 증발량은 2mm/h정도였다. 담수의 영향을 많이 받는 하천주변에서 루수량은 14mm/h이상으로서 상대적으로 많고 증발량은 1mm/h정도였다.

조석평원의 시험갱정에서 얻은 바다물관측자료는 표 2와 같다.

관측결과 조석평원의 시험갱정에서 바다물의 염도는 관측을 시작한 때에 비하여 며칠 지나간 후에 총체적으로 높아졌다. 이것은 조석평원의 시험갱정에서 간조때 증발농축된 바다물이 다음번 밀물때 완전히 희석되지 않고 염도가 계속 높아진다는것을 보여준다.

이 과정을 거쳐 상대적으로 염도가 높아진 바다물은 퇴적물속으로 스며들게 된다.

표 2. 조석평원의 시험갱정에서 얻은 바다물관측자료

관측날자	5월 26일		5월 27일		5월 28일		5월 29일	
관측시각/(시:분)	10:25	17:00	10:36	16:50	14:00	18:35	14:35	18:35
염도/°Be′	3	3.5	3.4	4	3	3.6	3.2	4
물온도/℃	20	25.5	20	23	28	24	26	23
물깊이/cm	28	26	20	20	28	20	32	19
관측날자	5월 31일		6월 1일		6월 2일		6월 8일	
관측시각/(시:분)	15:00	19:00	15:00	18:00	15:00	18:00	7:00	12:05
염도/°Be′	3.8	3.8	3.2	3.6	3.5	3.9	4	4
물온도/℃	26	20	26	24	21	21	18	28
물깊이/cm	17	17	18	17	17.5	17	13	10
관측날자	6월 9일		6월 10일		6월 11일		6월 12일	
관측시각/(시:분)	7:30	12:10	7:40	11:20	7:50	12:35	7:50	12:40
염도/°Be′	4	4	3.6	3.6	3.8	3.8	4	4.2
물온도/℃	18	29	18	22	18	25	20	26
물깊이/cm	19	16	20	20	17	16	16	15

하천주변의 시험갱정에서 얻은 바다물관측자료는 표 3과 같다.

표 3. 하천주변의 시험갱정에서 얻은 바다물관측자료

관측날자	5월 26일		5월 27일		5월 28일		5월 29일	
관측시각/(시:분)	9:55	16:25	10:55	16:30	13:30	18:10	12:10	18:00
염도/°Be′	1.2	1.4	2	2	2.4	1.8	2.4	2.8
물온도/℃	20	24	20	20	25	22	19	24
물깊이/cm	20	15	21	13.8	18	13	19	14.5
관측날자	5월 31일		6월 1일		6월 2일		6월 8일	
관측시각/(시:분)	15:00	17:00	15:00	18:00	15:00	18:30	7:00	12:05
염도/°Be′	2	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	1.2	1.0
물온도/℃	24	20	24	22	24	22	20	26
물깊이/cm	20	15.5	21	22	22	16	19	16
관측날자	6월 9일		6월 10일		6월 11일		6월 12일	
관측시각/(시:분)	7:30	12:10	7:40	11:20	7:50	12:35	7:50	12:40
염도/°Be′	1.2	1	0.9	0.8	0.9	1	1	1.6
물온도/℃	21	28	19	21	20	23	21	26
물깊이/cm	19	16	22	22	23	26	25	23

하천주변에 설치한 시험갱정에서는 담수의 영향을 많이 받아 갱정안에 남아있던 농축된 바다물이 거의다 희석되므로 염도변화가 잘 나타나지 않았다.

다음으로 우리는 조석평원과 하천주변에서 바다물이 증발농축되여 형성된 고염도염수가 퇴적층에 농집되는 과정을 확인하기 위하여 시험갱정안의 퇴적물속에 들어있는 염수의 깊이에 따르는 염도변화특성을 고찰하였다.(그림)

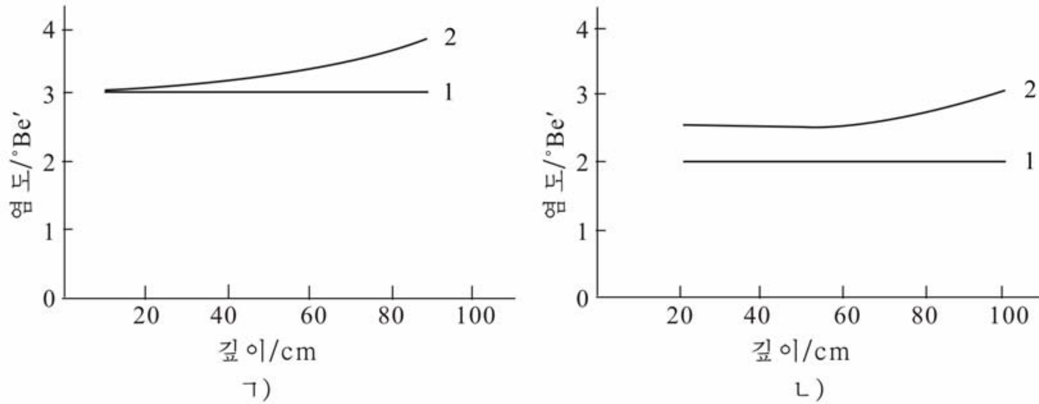


그림. 시험갱정들에서 퇴적물속에 들어있는 염수의 깊이에 따르는 염도변화특성
ㄱ) 조석평원의 시험갱정, ㄴ) 하천주변의 시험갱정;
1－5월 24일 염도변화특성, 2－6월 14일 염도변화특성

그림에서 보는바와 같이 날이 감에 따라 시험갱정안의 퇴적물속에 염수가 농집되여 염도가 높아진다.

하천주변에서는 바다물이 증발농축되여 생긴 염수가 퇴적물속에 농집되지만 담수의 영향을 세게 받으므로 염도가 낮아진다.

이상과 같은 관측결과는 조석평원에서 간조때 바다물이 증발농축되여 생긴 고염도염수가 퇴적층에 농집되여 지하초염수를 형성한다는것을 보여준다.

총체적으로 조석평원은 바다물의 증발농축과정이 끊임없이 진행되는 해안대 지하초염수 생성대이다.

맺 는 말

조석평원에서는 퇴적층의 스밈조건과 유리한 기후조건이 주어지면 고염도염수가 생성되면서 지하초염수가 형성될수 있다.

담수의 영향을 받지 않는 조석평원에서는 퇴적층에 농집되는 염수의 염도가 더 높아진다.

참 고 문 헌

[1] 조영일 등; 지질 및 지리과학, 3, 36, 주체97(2008).
[2] 曹文虎 等; 卤水资源及其综合利用技术, 地质出版社, 280～293, 2004.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Formation Possibility of Underground Brine in Littoral Plain

Ri Ho Yong, Kim Ryong Hung

On the simulated experiment result for formation of underground brine, we illustrated that underground brine was formed by continuous evaporation and concentration of the seawater in littoral plain.

Key words: underground brine, littoral plain

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

COMSOL Multiphysics에 의한 흐름포텐샬마당의 정문제풀이방법

김 기 성

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 현실발전의 요구에 맞게 나라의 과학기술을 빨리 발전시켜야 하겠습니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제11권 134페지)

우리는 현재 광범히 리용되고있는 물리마당결합해석도구인 COMSOL Multiphysics를 리용하여 지하수흐름에 의하여 생기는 흐름포텐샬마당에 대한 정문제풀이를 진행하였다.

1. 지하수의 흐름속도마당과 흐름포텐샬마당의 관계

일반적으로 지하수가 지하매질을 통하여 흐를 때 고체상과 액체상의 상경계면에서의 화학적특성에 의하여 흐름포텐샬이라고 하는 자연전위가 형성된다.

지난 시기에는 지하수의 흐름에 의하여 산생되는 흐름포텐샬분포에 대하여 주로 정성적인 해석을 많이 진행하였다.[1]

최근에 지하수가 불균일등방성매질을 통하여 흐를 때 지하수의 흐름속도와 흐름포텐샬은 다음의 식들을 통하여 서로 련관성을 가진다는것이 밝혀졌다.[2]

$$\boldsymbol{j} = \sigma\nabla V - Q_V \boldsymbol{u} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{u} = -K\nabla H \tag{2}$$

$$C' = -Q_V K / \sigma \tag{3}$$

여기서 $\boldsymbol{j}$는 전류밀도, σ는 지하매질의 전기전도도, Q_V는 파잉전하밀도, $\boldsymbol{u}$는 다르씨속도, K는 려과결수, H는 수두변화이고 C'는 수두에 관한 흐름포텐샬결합결수이다.

식 (1)을 전하의 련속방정식 $\nabla \cdot \boldsymbol{j} = 0$에 넣으면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$\nabla \cdot (\sigma\nabla V) = Q_V \nabla \cdot \boldsymbol{u} + \nabla Q_V \cdot u \tag{4}$$

정상조건에서 $\nabla \cdot \boldsymbol{u} = 0$이므로 식 (4)는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\nabla \cdot (\sigma\nabla V) = \nabla Q_V \cdot u \tag{5}$$

식 (5)를 풀면 지하수의 흐름에 의하여 생겨나는 흐름포텐샬분포를 구할수 있다.

2. 매질이 균일한 경우의 해석적풀이

우리는 이 방법의 정확성을 해명하기 위하여 균일등방성매질인 경우 다음의 해석식을 리용하였다.

전류의 련속원리에 의하여 $\nabla \cdot \boldsymbol{j} = 0$이고 $\boldsymbol{j} = \sigma \boldsymbol{E} - Q_V \boldsymbol{u}$이므로

$$\nabla \cdot (\sigma\nabla V) = \nabla \cdot (Q_V \boldsymbol{u}) \tag{6}$$

그런데 $Q_V = -C'\sigma / K$ 이고 $\boldsymbol{u} = -K\nabla H$ 이므로

$$\nabla \cdot (Q_V \boldsymbol{u}) = \nabla \cdot \left[-\frac{C'\sigma}{K}(-K\nabla H) \right] = \nabla \cdot (C'\sigma \nabla H)$$

로부터 식 (6)은 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = \nabla \cdot (-C'\sigma \nabla H) \tag{7}$$

지하매질의 비저항분포가 변하지 않는 경우 $\sigma \nabla^2 V = C'\sigma \nabla^2 H$ 이므로 $\nabla^2 V = C'\nabla^2 H$ 이다.

그런데 지하수의 류입원천이 존재하는 경우에는 $\nabla^2 H = -\frac{Q}{K}\delta(r)$ 이고 모형화구역의 웃경계면이 지표인 경우에는

$$\nabla^2 V = -2C'\frac{Q}{K}\delta(r) \tag{8}$$

로 된다. 여기서 Q는 단위시간동안 지하수의 류입량이다.

매질이 균일한 경우 식 (8)의 해석적풀이는 다음과 같다.

$$V = -\frac{C\eta Q}{2\pi r k} \tag{9}$$

여기서 $C = -\frac{C'k}{\eta K}$ 이며 r는 고찰점으로부터 흐름포텐샬원천까지의 거리이다.

지표로부터 지하로 지하수가 스며드는 경우 지표면근처에서는 상대적으로 《－》인 흐름포텐샬원천이 존재하고 지하수가 빠져나간다고 볼수 있는 모형화구역의 하부경계에서는 상대적으로 《+》인 흐름포텐샬원천이 존재한다고 볼수 있다. 따라서 지표면에서의 흐름포텐샬값은 다음의 식으로 결정할수 있다.

$$V = V_+ + V_- = -\frac{C\eta Q}{2\pi k}\left(\frac{1}{r_+} - \frac{1}{r_-} \right) \tag{10}$$

3. 모형계산결과

우리는 COMSOL Multiphysics에서 모형화구역을 지하수가 스며드는 통로를 포함하여 3개의 구역으로 분할하였다.

모형화구역의 수문지질학적 및 전기적특성은 표와 같다.

표. 모형화구역의 수문지질학적 및 전기적특성

특성량	값
전도도 $\delta/(\mathrm{S\cdot m^{-1}})$	0.001
투과결수 k/m^2	10^{-9}
류체의 동력학적점성결수 $\eta/(\mathrm{Pa\cdot s})$	$8.9\cdot10^{-3}$
흐름포텐샬결합결수 $C/(\mathrm{V\cdot Pa^{-1}})$	$-6.2\cdot10^{-7}$
류체의 밀도 $\rho/(\mathrm{kg\cdot m^{-3}})$	1 000
지하수의 류입량 $Q/(\mathrm{s^{-1}})$	1

모형화구역의 경계조건은 다음과 같이 설정하였다.

우선 전기마당의 경계조건으로서 내부경계를 제외한 모든 경계에서 전류차페조건을 리용하였다.

또한 지하수흐름마당의 경계조건으로서 상부 및 하부경계에서는 지하수가 중력의 작용만을 받으면서 $\boldsymbol{u} = k\rho g/\eta$ 의 속도로 수직방향으로 류입 및 류출되며 측면경계

에서는 지하수의 류출 및 류입작용이 진행되지 않는다고 보았다.

COMSOL Multiphysics를 리용하여 얻은 모형화구역에서의 흐름포텐샬계산결과는 그림 1과 같다.

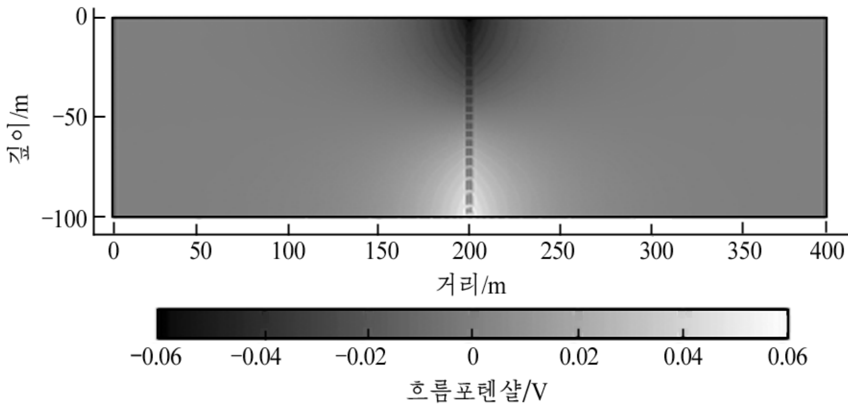


그림 1. 모형화구역에서의 흐름포텐샬계산결과

그림 1에서 보는바와 같이 지하수가 스며드는 모형화구역 상부경계의 200m근방에서는 부이상이 나타나고 반대로 지하수가 스며나가는 하부경계의 200m근방에서는 정이상이 나타났다.

또한 모형화구역의 상부경계에서 해석적풀이에 의한 계산결과와 COMSOL Multiphysics에 의한 모형계산결과는 잘 일치되였다.(그림 2)

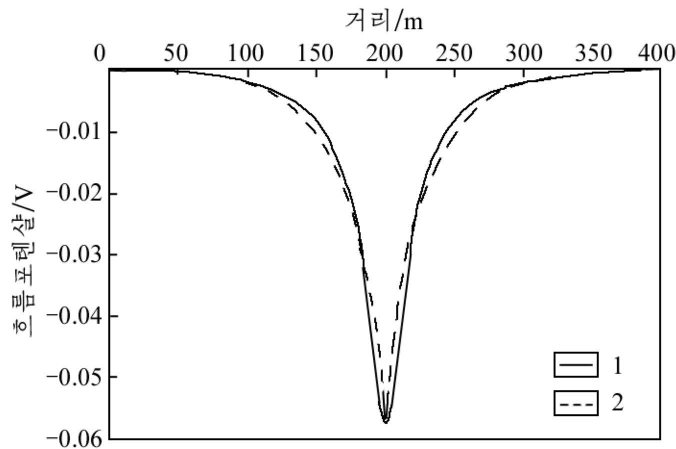


그림 2. 모형화구역 상부경계면에서 해석적풀이와 모형계산결과
1－해석적풀이, 2－모형계산

맺 는 말

흐름포텐샬마당은 지하수의 려과속도와 밀접한 련관이 있다.

물리마당결합해석프로그람인 COMSOL Multiphysics를 리용하여 지하수의 흐름포텐샬마당에 대한 정량해석을 진행할수 있다.

참 고 문 헌

[1] 리일경 등; 전기탐사학, **김일성**종합대학출판사, 192～208, 주체100(2011).

[2] A. Boleve et al.; Hydrol. Earth Syst. Sci., **11**, 1661, 2007.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Forward Modeling of the Streaming Potential Field Using COMSOL Multiphysics

Kim Ki Song

We performed the forward modeling of the streaming potential field caused by the flow of the underground water using COMSOL Multiphysics and confirmed the accuracy of this method with the analytical solution.

Key words: streaming potential, COMSOL Multiphysics

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

ㅇ지구 동-철광상의 특징

한광룡, 강상철

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《동은 인민경제 여러 부문에서 없어서는 안될 아주 귀중한 유색금속이며 중요한 전략물자입니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제24권 172페지)

지난 시기 광상의 광석형과 광체류형에 대한 연구[1]는 진행되였지만 광상의 특징에 대한 연구는 적게 진행되였다.

최근 철산화물형동-금광상은 경제적의의가 있는 새로운 류형의 동-금광상으로 알려져있다.[2]

론문에서는 연구지역 동-철광상이 철산화물형동-금광상류형에 속한다는것을 밝혔다.

1. 광상구역의 지질

광상구역은 재령강요함대에서 북서방향의 습곡축을 가진 제당산배사대의 서쪽날개부에 위치한다.

광상구역에는 재령강단렬대를 경계로 시생대 랑림층군과 중생대 백악기 한봉산주층이 구조부정합으로 놓이며 재령강단렬대주변에는 중생대 유라기 단천암군, 백악기말-고제3기초 석영반암, 규장암이 분포되여있다.

랑림층군의 주요구성암석은 흑운모편마암과 석영장석질편마암이며 단렬대접촉부에서는 압쇄작용을 받은 화강편마암이 나타난다.

한봉산주층의 분출퇴적층은 심부에서 우로 올라오면서 각력암, 분사암, 석회질니암, 응회질력암으로 이루어져있다.

광상구역에서 지질구조를 보면 습곡구조로는 제당산배사와 농장향사가 있으며 파렬구조로는 재령강단렬대와 함께 북동, 북서, 동서계렬의 단층과 층간렬하들이 있다.

석영반암은 재령강단렬대를 따라 길이 8km, 너비 100～800m의 면적으로 중생대 한봉산주층 니암, 사암에 주입되여있다.

석영반암의 주성분광물은 칼리움장석(3～5%), 석영(10～15%), 흑운모(3%), 유리질(80～85%)이고 부성분광물은 고령석, 견운모이며 반정으로서는 칼리움장석, 석영이고 석기는 유리질로 이루어져있다.

2. 광체의 특징

광상구역의 광체들에 대한 특징을 종합적으로 보면 다음과 같다.

① 광체들은 재령강단렬대를 경계로 중생대 분출퇴적층인 한봉산주층에 발달하는 층간렬하와 북서 및 북동계렬의 단층을 따라 놓인다.

한봉산주층의 암석들에서 철산화물의 함량은 상대적으로 높은데 특히 흑색니암(총철함량 34.59%)과 석회질니암(총철함량 15.42%)에서 특별히 높다. 이것은 한봉산주층 암석이 철의 원천으로 될수 있다는것을 보여준다.

② 광체들은 석영반암, 규장암맥들과 공간적으로 련계되여 형성되였으며 석영반암맥은 적철광광화작용과 동광화작용을 받았다. 석영반암맥에서는 철산화물과 칼리움산화물의 함량이 특별히 높다. 석영반암의 총철함량은 8～12%, K_2O함량은 8～13%, Na_2O함량은 0.5～0.7%이며 FeO/Fe_2O_3값은 0.4～0.9이다. 이것은 광상이 천성깊이에서 형성되였다는것을 보여준다.

③ 광체들은 자름면상에서 보면 웃층에는 적철광광체가 놓이고 아래층에는 적철광-황동광광체 또는 황동광광체가 놓인다. 특징적인것은 산화조건에서 형성되는 적철광과 환원조건에서 형성되는 황동광이 공반하는것이다.

④ 광체들은 층상, 망상, 광염상, 각력상광체이다.

광체들은 맥모양의 꼬리부에서 작은 세맥으로 갈라지거나 합쳐지면서 여러가지 형태의 광체로 나타난다.

광체들은 니암층에서는 렬하충진광체로, 니회질-석회질암층에서는 충진교대광체로 발달한다.

⑤ 배태암의 변화작용은 규화, 록니석화, 고회석화작용이며 광물조성은 단순하다.

기본광석광물은 적철광, 황동광이며 적은 량으로 갈철광, 자철광, 탄산철광, 티탄철광, 공작석이 들어있다. 비금속광물은 록니석, 석영, 철고회석, 방해석이다.

⑥ 광상구역에서 재령강단렬대를 따라 북쪽(신촌, 동창, 학천일대)으로 가면서 적철광, 적철광-황동광, 황동광, 황동광-중정석광체들이 분포되며 단렬대의 남쪽과 동쪽(재령, 사리원일대)에서는 석고광체들이 분포된다.

⑦ 광석의 주요성분은 Fe, Cu, P, S이며 수반성분은 Zn, V, Mo, Ni, Cr, Mn, Be, Ba, Ga, As, Ge이다.

⑧ 광석의 철품위는 12～25%, 동품위는 0.3～0.9%, 금품위는 0.17～0.4g/t, 은품위는 10～50g/t이다.

연구결과로부터 광상은 중생대 백악기 재령강분지에서 형성된 중-저온열수성인의 특징을 가진다는것을 알수 있다.

3. 철산화물형동-금광상으로서의 특징

철산화물형동-금광상은 주로 철산화물함량이 20%이상인 동-금광상을 말한다.[2]

이 광상류형은 규모가 크고 품위가 높으며 형성깊이가 얕고 선광하기가 쉬운 경제적으로 중요한 광상류형의 하나로 알려졌다.[3]

연구지역 광상을 철산화물형동-금광상의 특징과 대비하여보면 다음과 같다.(표)

표. 연구지역 광상과 철산화물형동-금광상의 특징에 대한 비교

광상	철산화물형동-금광상	연구지역 광상
철산화물류형	적철광	적철광
구조적조건	바다 또는 분출퇴적분지	염수분지, 분출퇴적분지
광체형태	층모양, 렌즈모양, 각력모양, 맥모양	층모양, 맥모양, 세맥모양, 광염모양, 각력모양

광상	철산화물형동-금광상	연구지역 광상
배태암	분출암 및 분출퇴적암	분출퇴적암
배태암의 변화	견운모화, 록니석화, 적철광화	규화, 록니석화, 적철광화, 고회석화
화성암계렬	석회알카리성, 중산성	알카리성, 산성
단층	분리단층	분리단층, 층간단층
광물조성	자철광, 적철광, 황동광, 자연금, 황철광, 력청우라니움광,	적철광, 자철광, 갈철광, 황동광, 반동광, 자연금, 황철광
유용원소	Cu, Ag, Au, Co, Zn, U, REE	Cu, Fe, Au, Ag
광석품위	Fe>20%, Cu 0.3～1.1%, Au 0.1～1.41g/t	Fe 12%～25%, Cu 0.3～0.9%, Au 0.17～0.41g/t
형성온도	중-저온	중-저온
형성깊이	천성	천성
형성시대	신생대-중원생대	백악기말-제3기초

표에서 보는바와 같이 연구지역 광상은 철산화물형동-금광상의 특징을 가진다.

맺 는 말

연구지역의 광상은 중생대 백악기 재령강분지에서 형성된 중-저온열수성인의 광상이며 철산화물형동-금광상의 특징을 가진다.

참 고 문 헌

[1] 리덕화 등; 지질탐사, 5, 33, 1988.

[2] Zhimin Zhu; Ore Geology Reviews, 72, 37, 2016.

[3] Huayong Chen; Ore Geology Reviews, 51, 74, 2013.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Characteristics of Copper-iron Deposit in "ㅇ" Region

Han Kwang Ryong, Kang Sang Chol

The deposit in "ㅇ" Region is middle-low temperature hydrothermal deposit formed in the Zaeryonggang basin of Mesozoic era Cretaceous period and has characteristics of iorn oxide type copper-gold deposit.

Key words: iorn oxide, copper deposit

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

유기질석－천연고무복합재료의 제조와 특성

김학문, 박혜숙, 허용철

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《광석의 종합적리용과 광물의 응용분야를 넓히기 위한 연구사업도 잘하여야 합니다.》
(《**김정일**전집》 제2권 399페지)

층상규산염광물과 유기물질사이의 호상작용특성을 리용하여 제조한 점토-고분자복합재료는 발화지연특성과 기체투과방지특성 등 여러가지 특이한 성질들을 가지고있는것으로 하여 그것에 대한 연구[2, 3]가 심화되고있다.

론문에서는 질석의 층간에 유기물을 삽입시켜 제조한 유기질석을 천연고무와 혼련하여 유기질석-천연고무복합재료를 제조하는 방법과 그것의 특성에 대하여 고찰하였다.

실험재료 및 방법

시료로는 강서군 수산리질석광산에서 나오는 소성하지 않은 질석광석과 천연고무를 리용하였다.

1mol/L NaCl용액으로 처리할 때 질석의 이온교환특성이 제일 좋아지므로 우선 립도가 0.18～0.25mm인 소성하지 않은 질석 20g을 1mol/L NaCl용액 200mL가 들어있는 플라스크에 넣어 상온에서 1d동안 방치시킨 다음 시료를 꺼내여 Cl^-이 검출되지 않을 때까지 증류수로 여러번 세척한다.[1] 다음 건조로에 넣어 90℃의 온도에서 2h동안 건조시키고 크기가 85, 95μm 되게 분쇄하여 Na형질석으로 만든다.

85μm 크기의 Na형질석 30g을 200mL의 증류수에 넣어 10min동안 교반시켜 충분히 적신 다음 여기에 연구지역 질석이온교환용량의 1.0배, 2.0배만 한 량의 HDTMAB를 넣고 상온에서 반응시킨다. 이 과정에 여러번 교반시켜주고 24h 지난 다음 Br^-이 검출되지 않을 때까지 증류수로 여러번 세척(검출시약 0.1mol/L $AgNO_3$용액)하고 건조시켜 유기질석을 만든다.

또한 95μm 크기의 Na형질석 15g을 100mL의 증류수에 넣어 10min동안 교반시켜 충분히 적신 다음 여기에 연구지역 질석이온교환용량의 1.0배만 한 량의 HDTMAB를 넣고 상온에서 반응시켜 우와 같은 방법으로 유기질석을 만든다.

질량비로 생고무 90%, 류황 3.5%, 촉진제(M) 0.5%, 아연화 5.5%, 스테아린산 0.5%를 골고루 혼합하고 여기에 립도별유기질석을 10, 20, 30% 첨가한 다음 150℃/20min의 조건에서 가류시켜 유기질석-천연고무복합재료를 제조한다.(표 1)

고무혼합원료에 탄산칼시움을 10, 20, 30% 첨가한 다음 이것을 우와 같은 조건에서 가류시켜 탄산칼시움-천연고무복합재료를 제조한다.

유기질석-천연고무복합재료와 탄산칼시움-천연고무복합재료의 력학적특성을 대비고찰하기 위하여 당김세기와 늘음률, 잔류변형률, 쇼아굳기, 탄성률을 각각 측정하였다.

표 1. 실험재료들의 배합비

시료번호	립도/μm	HDTMAB첨가량/배	고무혼합원료함량/%	질석함량/%	탄산칼시움함량/%
1	85	1.0	90	10	－
2	85	1.0	80	20	－
3	85	1.0	70	30	－
4	85	2.0	90	10	－
5	85	2.0	80	20	－
6	85	2.0	70	30	－
7	95	2.0	90	10	－
8	95	2.0	80	20	－
9	95	2.0	70	30	－
10	85	－	90	－	10
11	85	－	80	－	20
12	85	－	70	－	30

당김세기와 늘음률, 잔류변형률은 당김시험기에서, 쇼아굳기는 쇼아굳기계에서, 탄성률은 탄성시험기에서 측정하였다.

유기질석-천연고무복합재료에 대한 전자현미경분석은 주사식전자현미경《QUANTA200》에서 진행하였다.

결과 및 해석

1) 력학적특성

유기질석-천연고무복합재료와 탄산칼시움-천연고무복합재료의 특성은 표 2와 같다.

표 2. 질석-천연고무복합재료와 탄산칼시움-천연고무복합재료의 특성

구분	시료번호	당김세기/MPa	쇼아굳기	탄성률/%	잔류변형률/%	늘음률/%
유기질석-천연고무복합재료	1	22.7	43	59	25	650
	2	21.8	48	55	31	600
	3	21.3	58	55	42	560
	4	24.2	45	59	28	640
	5	20.5	51	58	31	610
	6	16.7	61	52	41	510
	7	23.4	48	60	25	610
	8	21.7	53	60	33	590
	9	18.3	68	45	62	490
탄산칼시움-천연고무복합재료	10	15.0	35	54	13	730
	11	15.8	40	56	20	650
	12	16.8	45	55	20	660

같은 립도의 질석과 탄산칼시움을 천연고무에 각각 같은 량 첨가하였을 때 그것의 당김세기는 현저히 차이난다.

유기질석의 함량이 많아질수록 유기질석-천연고무복합재료의 당김세기는 점점 약해진다. 유기질석과 탄산칼시움을 각각 10, 20, 30%씩 첨가하였을 때 질석을 첨가한 유기질석-천연고무복합재료의 당김세기는 탄산칼시움을 첨가한 탄산칼시움-천연고무복합재료의 당

김세기보다 각각 1.51, 1.38, 1.27배 더 커진다. 이것은 유기질석이 탄산칼시움보다 고무제품의 보강 및 충진제로서의 특성이 훨씬 더 좋다는것을 의미한다.

유기질석-천연고무복합재료의 당김세기는 유기질석을 10% 첨가하였을 때 HDTMAB 첨가량이 많을수록 더 커지고 유기질석을 20, 30% 첨가하였을 때에는 오히려 HDTMAB 첨가량이 많을수록 작아진다. 이것은 적은 량의 유기질석을 첨가할 때 HDTMAB첨가량이 많을수록 즉 질석의 층간거리가 길수록 고무보강제로서의 특성이 더 좋아진다는것을 보여준다.

질석의 립도에 따르는 유기질석-천연고무복합재료의 당김세기를 대비하여보면 10% 첨가할 때에는 오히려 립도가 큰것의 당김세기가 약간 약해지고 첨가량이 많아질 때 립도가 작을수록 당김세기가 더 세진다.

유기질석-천연고무복합재료의 탄성은 유기질석을 10% 첨가할 때 립도가 커질수록 더 세지고 20%인 경우에는 립도가 커질수록 더 약해진다. 유기질석의 함량이 많아짐에 따라 유기질석-천연고무복합재료의 탄성은 약해지는 경향성을 나타내는데 10% 첨가하였을 때가 59로서 제일 좋다.

유기질석을 첨가한 천연고무복합재료의 쇼아굳기는 탄산칼시움을 첨가한 경우보다 명백하게 세다. 질석이온교환용량의 2배 되는 HDTMAB로 처리한 유기질석을 30% 첨가하였을 때 유기질석-천연고무복합재료의 쇼아굳기는 61로서 탄산칼시움을 30% 첨가하였을 때(45)보다 약 1.3배 커진다.

질석이온교환용량의 1배 되는 HDTMAB로 처리한 유기질석을 10% 첨가하였을 때 유기질석-천연고무복합재료의 쇼아굳기는 탄산칼시움을 10% 첨가하였을 때보다 1.2배 더 커진다. 유기질석-천연고무복합재료의 쇼아굳기에서는 유기질석의 첨가량이 많아질수록 점차 커지는 경향성이 나타난다.

유기질석-천연고무복합재료의 잔류변형률은 탄산칼시움-천연고무복합재료보다 약간 크며 늘음률은 조금 작아진다.

총체적으로 천연고무충진제로서의 유기질석의 특성은 탄산칼시움보다 좋다는것을 알수 있다.

2) 전자현미경분석

4 000배로 확대한 유기질석-천연고무복합재료의 전자현미경화상에서 천연고무속에 충진제로 들어간 유기질석립자들의 크기는 대부분 3～6μm정도이며 10μm이상 되는 립자들은 찾아보기 힘들다.

유기질석의 초기립도가 95μm이하라는것을 고려할 때 이것은 유기질석립자들의 대부분이 천연고무와의 혼련과정에 박리되여 더 작은 립자들로 분리되였다는것을 보여준다.

유기질석립자와 천연고무와의 결합관계를 고찰하기 위하여 24 000배로 확대시키면 유기질석립자와 천연고무가 빈공간이 없이 치밀하게 밀집되여있는것을 볼수 있는데 이것은 유기질석립자가 천연고무와 매우 견고한 결합을 이루고있다는것을 보여준다.

이러한 결과를 통하여 질석의 층간에 $HDTMA^+$이 삽입되면 층간이 확장되여 질석립자들이 (001)면을 따라 쉽게 박리될수 있는 조건이 마련되고 친수성을 나타내는 질석립자들이 $HDTMA^+$에 의하여 소수성으로 전환된다는것을 알수 있다.

맺 는 말

질석의 층간에 $HDTMA^+$이 삽입된 유기질석은 층간이 확장되기때문에 쉽게 박리될수 있다. 따라서 유기질석과 천연고무로 만든 유기질석-천연고무복합재료의 당김세기, 쇼아굳기, 탄성과 같은 특성들은 탄산칼시움-천연고무복합재료보다 더 우월하다.

참 고 문 헌

[1] 김학문 등; 지질 및 지리과학 4, 12, 주체107(2018).
[2] 안종혁 등; 고분자-점토나노복합재료, 공업출판사, 4～14, 주체100(2011).
[3] Ting-Ting Li et al.; Fibers and Polymers 16, 3, 691, 2015.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Preparation of the Organo Vermiculite-Natural Rubber Complex and its Characteristics

Kim Hak Mun, *Pak Hye Suk* and *Ho Yong Chol*

The organo vermiculite intercalated $HDTMA^+$ into its interlayer can be easily exfoliated due to the expansion of interlayer space, therefore the characteristics such as tensile strength, hardness and elasticity of organo vermiculite-natural rubber complex are better than calcium carbonate-natural rubber complex’s.

Key words: vermiculite, natural rubber, HDTMAB

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

혜산시 춘동지구에서 새로 알려진 상부고생대 식물화석에 대하여

송명효, 전수향, 원철국

우리는 량강도 혜산시 춘동지구에 분포되여있는 상부고생대층에 대한 고생물학적연구를 진행하는 과정에 석탄기-페름기의 식물화석들을 새로 찾았다.

지난 시기 이 지구에서는 *Lepidodendron szeianum* Lee, *Lepidodendron oculus-felis*(Aob) Zeiller, *Lepidophyllum* sp., *Neuropteris* sp. 등을 비롯한 몇종의 식물화석들만이 알려졌다.[1]

론문에서는 이 지구에서 새로 찾은 석탄기-페름기 식물화석들의 몇개 종에 대하여 서술한다.

연구지역에서 상부고생대층은 혜산시 마산-춘동일대에 매우 작은 쐐기모양으로 고원생대층과 하부고생대층사이에 드러나있는데 분포면적은 약 0.2km^{2}이다.

속 *Sphenophyllum* Koenig, 1825

종 *Sphenophyllum verticillatum*(Schloth.) Brongn.(그림의 ㄱ))

기재 속새식물 쐐기풀속에 속하는 종으로서 화석으로는 잎만이 나타난다. 매 잔쪽잎의 크기와 배렬방식은 비슷한데 1개 잔쪽잎의 크기는 길이 3～3.5mm이고 너비 2mm이다. 6개의 잔쪽잎들이 한데 모여있는데 잎들의 형태는 보통 둥근3각형이지만 그 형태가 잔쪽잎마다 약간씩 차이난다. 잔쪽잎들의 웃부분은 톱날모양을 이루며 뾰족한 밑부분들은 서로 합쳐져있다. 매 잔쪽잎들은 옆에 있는 잔쪽잎들과 서로 다른 각도로 접해있다. 하나의 잔쪽잎에서 량옆의 변두리는 비교적 매끈하며 약 25～30º의 각을 이루고있다. 잎면에는 잎맥들이 나있는데 밑부분에서 2～3줄로 시작되여 웃부분으로 가면서 다시 2～3번정도 갈라져 웃변두리에서는 보통 6～9줄로 배렬된다.

비교 이 종은 잔쪽잎들의 웃변두리가 비교적 곧고 매 잔쪽잎들의 너비가 거의 균일한데서 *Sphenophyllum verticilatum* Brongn.[1, 2]의 다른 표본들과 차이난다.

산지와 층위 량강도 혜산시 춘동, 페름기 하세 사동주층 암회색점판암층

종 *Sphenophyllum emarginatum* Brongn.(그림의 ㄴ))

기재 속새식물 쐐기풀속에 속하는 종으로서 화석으로는 잎과 줄기의 일부분이 나타난다. 줄기는 너비가 4mm정도로서 비교적 좁으며 줄기의 가운데부분에 3개의 잔쪽잎들이 붙어있다. 잔쪽잎들이 붙어있는 부위의 줄기너비는 약간 넓다. 줄기에는 세로방향으로 깊이 패인 홈이 2～3개 있는데 비교적 곧다. 잔쪽잎들의 형태는 거의 비슷한데 대체로 좁은 부채모양으로서 밑변두리가 웃변두리보다 3배 더 넓다. 잔쪽잎의 길이는 11～12mm이고 너비는 5～6mm이다. 잔쪽잎들의 량옆의 변두리들은 약 30º의 각을 이루고 잎맥은 밑에서 3줄정도 나와 3～4번 갈라져 발달하는데 잎끝부분에서 둥그스럼한 톱날모양을 나타낸다.

비교 이 종은 *Sphenophyllum verticillatum*(Schloth.) Brongn.[1]과 비교해볼 때 잔쪽잎들의 개수, 배렬방식, 크기에서뿐아니라 잔쪽잎의 밑변두리가 상대적으로 넓은데서 차이난다.

산지와 층위 량강도 혜산시 춘동, 페름기 하세 사동주층 암회색점판암층

속 *Tingia* Halle, 1925

종 *Tingia carbonica*(Schenk) Halle(그림의 ㄷ))

기재 속새식물에 속하는 종으로서 하나의 잔쪽잎만이 화석으로 남아있다. 잔쪽잎의 형태는 긴 쐐기모양인데 매우 작은것이 특징이다. 잎의 크기는 길이 13∼15mm, 너비 3∼3.5mm 정도이다. 잔쪽잎의 웃부분은 톱날모양인데 표본에서는 크게 3개의 틈으로 갈라져있다. 잔쪽잎의 량옆변두리들은 곧거나 약간 구부러져있는데 서로 12∼15º의 각을 이룬다. 잔쪽잎의 밑부분은 좁고 볼록한데 잎면에는 3줄로 배렬된 가느다란 잎맥들이 웃쪽으로 가면서 다시 2∼3번 갈라져 잔쪽잎의 웃변두리부분까지 방사상으로 배렬된다. 다른 표본들의 잔쪽잎은 상대적으로 크지만 기재하는 종의 잔쪽잎이 작은것으로 보아 이 잔쪽잎은 이 종의 제일 웃부분에 붙어있었던것으로 보아진다.

비교 이 종은 이미 알려진 *Tingia carbonica*(Schenk) Halle[1]의 다른 표본들과 비교해볼 때 잔쪽잎의 형태와 잎맥들의 발달상태에서는 매우 비슷하지만 크기가 작은데서 차이난다.

산지와 층위 량강도 혜산시 춘동, 뻬름기 하세 사동주층 암회색점판암층

속 *Stigmaria* Brongn, 1822

종 *Stigmaria ficoides*(Sternb.) Brongn.(그림의 ㄹ))

기재 속새식물의 뿌리화석이다. 화석으로 보존된 뿌리의 길이는 60mm, 너비는 15mm 정도이다. 표본에는 모두 5개의 둥그스럼한 잔뿌리자리들이 있는데 이것들은 라선모양으로 비교적 규칙적으로 배렬되여있다. 잔뿌리자리는 약간 패여있는데 직경은 1∼2mm이며 잔뿌리자리들사이의 거리는 10∼20mm이다. 뿌리의 겉면에 3개의 잔뿌리들이 거의 비슷한 굵기로 배렬되여있는데 그 간격은 일치하지 않다. 뿌리의 겉면에는 미세한 세로방향의 줄무늬들이 불규칙적으로 드문드문 나있다.

비교 이 종은 이미 알려진 *Stigmaria ficoides*(Sternb.) Brongn.[2]의 다른 표본들과 비교해볼 때 잔뿌리자리들의 형태와 수, 뿌리겉면에 나있는 미세한 줄무늬들의 발달상태에서 차이난다.

산지와 층위 량강도 혜산시 춘동, 뻬름기 하세 사동주층 암회색점판암층

새로 알려진 식물화석들은 그림과 같다.

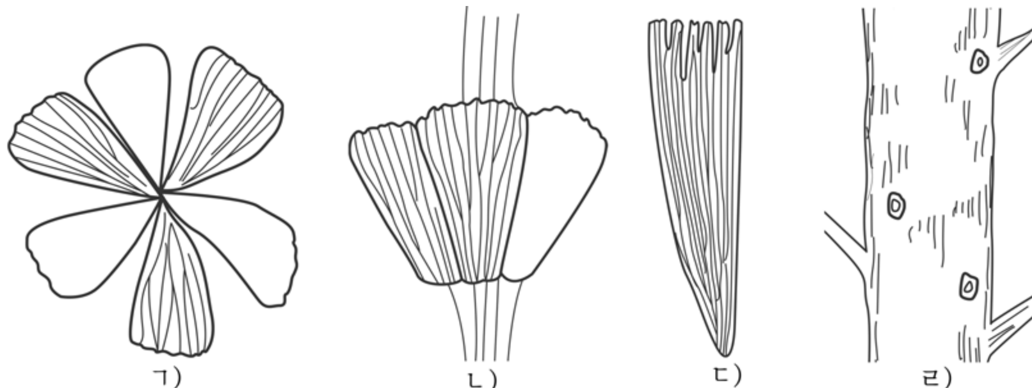


그림. 새로 알려진 식물화석들

ㄱ) *Sphenophyllum verticillatum*(Schloth.) Brongn. ×6, 표본번호 ㅎ-94-1, ㄴ) *Sphenophyllum emarginatum* Brongn. ×2, 표본번호 ㅎ-94-2, ㄷ) *Tingia carbonica*(Schenk) Halle, ×2.6, 표본번호 ㅎ-94-3, ㄹ) *Stigmaria ficoides*(Sternb.) Brongn. ×1, 표본번호 ㅎ-94-4

맺 는 말

연구지역에서 새로 알려진 *Sphenophyllum verticillatum*(Schloth.) Brongn., *Sphenophyllum emarginatum* Brongn., *Tingia carbonica*(Schenk) Halle, *Stigmaria ficoides*(Sternb.) Brongn.들은 모두 석탄기 상세부터 페름기 하세까지 번성한 속새식물에 속하는 종들로서 이미 알려진 *Lepidodendron szeianum* Lee, *Lepidodendron oculus-felis*(Aob) Zeiller, *Lepidophyllum* sp., *Neuropteris* sp. 등의 종들과 함께 이 지구의 함탄층을 형성하였다.

참 고 문 헌

[1] 원철국 등; 지질전서 3, **김일성**종합대학출판사, 72～96. 주체91(2002).
[2] J. P. Rafferty; The Paleozoic Era Diversification of Plant and Animal Life, Britannica, 245～324, 2010.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

On the Upper Paleozoic Plant Fossils Newly Found at the Chundong Area of Hyesan City

Song Myong Hyo, *Jon Su Hyang* and *Won Chol Guk*

The plant fossils(*Sphenophyllum verticillatum*(Schloth.) Brongn., *Sphenophyllum emarginatum* Brongn., *Tingia carbonica*(Schenk) Halle, *Stigmaria ficoides*(Sternb.) Brongn.) newly found at the Sadong formation of the Chundong area, Hyesan city, are the species belong to Sphenopsida that flourished from upper Carboniferous to lower Permian.

Key words: upper paleozoic, plant, fossil

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

금강산의 세계자연유산가치와 비교분석

전원석, 리무일

위대한 수령 **김일성**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《금강산은 참으로 조선의 명산인 동시에 세계적인 명산입니다. 금강산은 예로부터 우리 인민들의 사랑을 받고있을뿐아니라 세계인민들의 동경의 대상으로 되고있습니다.》

(《**김일성**전집》 제6권 339페지)

론문에서는 국제자연보호련맹(IUCN)의 기준에 따라 금강산의 자연유산가치를 밝히고 세계적인 명산들과의 비교분석을 진행한 결과에 대하여 서술하였다.

1. 세계자연유산가치

금강산은 세계자연유산등록기준들가운데서 기준 vii, viii에 부합된다.

1) 기준 vii: 가장 우수한 자연현상이나 특출한 자연미, 미학적의의를 가지는 지역을 포함해야 한다.[1]

① 우수한 자연현상

상팔담 상팔담은 수백메터 높이의 절벽들로 둘러싸여있고 해발 700m 높이의 반달모양으로 휘여든 계곡에 이루어진 8개의 담소로서 매우 신비롭고 특이한 모양을 나타낸다.

총연장길이가 250여m인 짧은 구간안에 길이가 10m 또는 그 이상 되는 폭포들과 직경이 최고 30m, 깊이가 최고 10m정도 되는 담소들이 집중분포된것은 자연적인 현상으로 이루어졌다고 보기에는 매우 힘들다.

만물상 만물상은 그림이나 사진으로도 립체적인 경치를 다 담을수 없으며 세상의 모든 형태의 물체들을 석조조각하여 모아놓은 보물고를 련상시킨다.

천선대에서 바라보는 만물상의 전경은 로천박물관의 대형전경화를 바라보는듯 한 감을 주며 그 폭이 수백메터에 달하여 한눈에 미처 담을수 없다.

만물상에는 사물의 모양을 나타내는 기암만 해도 수천개가 있는데 매개의 기암은 력사적으로 내려오는 신비한 전설들과 결부되여있다.

수정봉과 바리봉의 화강암공동 수정봉과 바리봉우에는 수많은 화강암공동들이 있는데 이것 역시 금강산의 특이한 자연현상들중의 하나이다.

바리봉우에는 1 000여개의 크고작은 공동들이 있는데 그것들은 $0.02km^2$밖에 안되는 봉우리의 정점에 널려있다. 생김새도 기묘하지만 주위에 그 어떤 바람막이도 없이 둥그런 모양의 바위산만 있는 꼭대기에 그 누구인가 의도적으로 파놓은듯 한 각이한 모양의 공동이 있고 그안에 원천이 없는 물이 사시장철 마르지 않고 차있어 도롱룡과 비단개구리들이 살고 있을뿐아니라 흙으로 채워진 곳에 소나무와 여러가지 풀들이 무성하게 자라는 모양은 볼수록 신비스러운 감을 준다.

선조암 해금강구역의 선조암 역시 금강산의 특이한 자연현상들중의 하나로서 자그마한

언덕우에 높이 5∼6m, 너비 4∼5m 되는 화강암으로 된 바위이다. 그 모양이 국자를 꺼꾸로 놓은것 같기도 하고 바가지를 뒤집어놓은것 같기도 하며 어찌보면 바다물속의 해파리 같기도 한 이 바위는 웃쪽은 둥그런모양이지만 그아래쪽에는 깊이와 직경, 모양이 각이한 무수한 구멍들이 나있어 자연적으로 형성되였다고 보기에는 너무도 믿기 어려운 신비한 모양을 이루고있다.

총석 해금강구역의 총석은 그 모양이 매우 독특하고 정교하여 금강산의 특이한 자연현상들중의 하나로 되고있다.

약 1km 구간안에 펼쳐진 총석들은 5, 6, 8각형 등의 주상체들이 홀로 또는 여러 묶음의 기둥모양으로 서있거나 바다가기슭에 절벽을 이루면서 마치 금방 바다에서 솟아오른듯 한 감을 주고있으며 거대한 기둥바위묶음들이 각이한 방향으로 통채로 넘어져있는 그 모양은 보는 사람들로 하여금 지구력사의 한 시대를 보는듯 한 감을 준다.

주상체의 직경은 보통 1m정도이며 바다물면으로부터 솟아오른듯 한 총석기둥의 높이는 30m에 달하는것도 있다.

② 특출한 자연미

금강산은 조선동해와 접하고있는 특이한 자연지리적조건과 신생대의 강력한 지체구조운동, 제4기 빙하작용의 영향으로 특색있는 산경치와 호수경치, 바다경치가 하나로 조합된 특출한 자연미를 이루고있는 명승의 집합체이다.

금강산의 자연미는 크게 색채미와 형태미, 계절미, 생태미, 조화미로 나타난다.

색채미 일반적으로 자연의 색들가운데서 붉은색과 푸른색은 잘 어울리는 색들로 알려져있다. 여기에 흰색이 바탕에 깔리면 두 색의 부드러운 대조는 더욱 뚜렷해진다.

금강산은 바로 이 세가지 색들의 조화가 가장 뚜렷하게 안겨오는 고유한 색채미를 가지고있다. 금강산의 자연풍경에서 가장 두드러지는 색은 흰색과 푸른색, 붉은색이다.

암석의 흰색, 물의 푸른색, 가을날 산과 계곡마다에 펼쳐지는 단풍의 붉은색이 조화되는 특이한 색채미는 금강산의 가장 특색있는 자연미의 하나이다.

형태미 금강산의 형태미에서 기본대상은 암석과 물이다. 그것들이 펼치는 천변만화의 기묘한 풍경은 가는 곳마다에서 사람들의 경탄을 자아낸다. 암석들의 형태미는 금강산자연미의 기본을 이룬다. 대표적으로 수정봉과 바리봉, 세지봉, 집선봉, 문필봉, 초대봉, 석가봉, 미륵봉, 지장봉, 향로봉 등은 그자체가 여러가지 모양을 방불케 한다. 금강산에는 보는 장소에 따라 모습이 완전히 달라지는 독특한 형태미를 가진 화강암봉우리들도 있다. 실례로 수정봉은 동쪽에서 바라보면 이름그대로 거대한 수정체들을 묶어놓은 산 같고 북동쪽에서 보면 금시라도 망울을 터치며 피여날것만 같은 커다란 꽃송이를 방불케 하며 남쪽에서는 마치 아름다운 녀인이 누워있는듯 한 모습으로 보인다. 또한 각이한 형태의 돌탑, 돌기둥, 절벽들과 천태만상의 기암괴석들은 금강산의 자연미를 더욱 북돋아준다.

금강산의 형태미는 이처럼 크기와 형태에 있어서 매우 다양하다.

계절미 조선반도는 태평양연안의 온대기후대에 위치하고있는 관계로 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절변화가 뚜렷하다. 금강산은 매 계절마다 풍경변화가 심할뿐아니라 개성적인 특징을 나타낸다. 그리하여 예로부터 사람들은 금강산을 계절마다 달리 불러왔다.

만물이 소생하며 생의 기운이 약동하는 화창한 봄날에 찬연한 흰빛을 뿌리는 모습은 온 산이 통채로 아름답고 굳은 금강석을 방불케 한다고 하여 금강산이라고 불렀다.

신록이 우거진 여름철의 신비경은 마치 신선들이 사는 세계를 방불케 한다. 그래서 여름의 금강산을 봉래산이라고 불렀다. 봉래라는 말은 옛날 신선들이 산다는 동해의《3신산》의 하나인《봉래산》에서 유래된것이다.

가을이 되면 산이 온통 활활 불타는것처럼 붉게 단장되여 열정과 기개가 차넘친다. 그래서 이때에는 풍악산이라고 불렀다.

겨울의 금강산은 개골산 혹은 설봉산이다. 무성하던 단풍잎은 모두 지고 흰눈을 머리에 인 봉우리와 바위들만이 우뚝우뚝 솟아나 마치 산은 뼈만 남은것처럼 앙상해보인다.

금강산이 이처럼 철따라 여러가지 모양으로 변하는것은 독특하고 기묘한 형태미를 바탕으로 1 000여종의 식물들이 조화를 부리기때문이다.

생태미 절승의 명산이라면 반드시 없어서는 안되는것이 정갈함과 순수함이다. 금강산은 세계적인 명승으로서 갖추어야 할 정갈하고 순수한 자연생태미를 보유하고있어 대자연의 정취를 천연그대로 향유할수 있다.

우선 금강산의 자연수는 국제적인 수질기준을 초과하는 뛰여난 천연음료이다. 누구나 어디서든지 금강산의 계곡을 따라 흐르는 담소, 폭포의 물을 그대로 마실수 있다. 이것이 금강산의 특출한 생태미를 특징짓는 첫째가는 징표이다.

다음으로 대기중의 산소함량이 다른 그 어느 명산보다 많고 수많은 폭포들의 작용으로 음이온함량이 대단히 많다. 그것과 관련된 통계학적수자들은 국제적기준에 비해볼 때도 특출하다.

조화미 개개의 미보다도 서로 다른 사물현상들의 조화가 우선이라는 뜻이다. 그것도 단순한 결합이 아니라 특이한 색채미와 형태미, 생태미를 바탕으로 산과 계곡, 암석과 수림, 폭포와 담소, 호수와 바다가 적당한 비례와 균형을 이루고있을뿐아니라 계절과 시간, 온도에 따라 천변만화하는 구름과 안개, 바람의 작용까지 결합되는 조화미가 바로 금강산의 독특한 자연미의 하나를 이룬다.

2) 기준 viii: 생명의 진화, 지형의 형성과 발전에서 중요한 지질학적과정 또는 지형학적으로나 자연지리적특징을 포함하여 지구력사의 주요단계를 반영하는 특출한 지역이여야 한다.[1]

금강산은 지형의 형성에서 신생대 지체구조운동과 빙하작용을 받은 대표적인 지역이다. 금강산은 신생대 구조운동과 제4기 빙하작용에 의하여 명승지로서의 자격을 갖추게 되였다.

① 신생대 지각운동

비로봉을 중심으로 한 외금강과 내금강의 지형특징은 경동지괴운동(신생대 구조운동)의 전형적인 산물이다.

금강산지구는 동아시아지역에서 북서－남동방향의 신기단렬구조를 따라 여러개의 계단을 이루면서 륭기한 대표적인 지역의 하나이다.

신생대 구조운동에 의하여 금강산의 기본골격을 이루는 북서－남동방향의 태백산줄기가 형성되였다. 이 산줄기는 해안선가까이에서 해안선을 따라 형성되였다. 바로 이것이 금강산의 경관류형의 다양성을 가지게 한 중요한 요인으로 되였다.

② 제4기 빙하작용

금강산에는 제4기 위름빙하기에 산악빙하가 존재하였는데 그것은 금강산의 지형발전에 적지 않은 영향을 주었다.

금강산의 다양한 형태의 봉우리와 계곡은 빙하기에 빙식작용에 의하여 형성되였으며 해금강의 삼일포와 해만물상지형은 빙하의 직접적인 작용은 받지 않았다.

금강산은 산악빙하에서 특징적인 권곡, 칼날릉선, 뾰족봉, 빙식계곡들과 빙퇴석을 비롯하여 수많은 빙하산물들을 보존하고있다. 금강산은 중생대말부터 신생대까지 대륙지각진화의 자연적산물로서 독특한 지질학적 및 지형학적특징을 포함하는 특출한 지질학적가치를 가진다.

2. 세계자연유산가치와의 비교분석

금강산은 미학적 및 지질학적가치를 가지고있는것으로 하여 조선의 가장 유명한 명산으로 되고있다.

국제자연보호련맹의 세계자연유산범주에 따르면 금강산은 산유산의 범주에 포함된다.

산유산들은 우수한 자연현상이나 특출한 자연미(기준 vii), 지질학적과정(기준 viii), 생태학적 및 생물학적과정(기준 ix) 그리고 생물다양성(기준 x)을 세계적가치로 가지고있다.[2]

금강산과 비교되는 대표적인 산세계유산은 표 1과 같다.

표 1. 금강산과 비교되는 대표적인 산세계유산[2, 3]

No.	유산이름	기준
1	Los Glaciares	vii, viii
2	Canadian Rocky Mountain Parks	vii, viii
3	Kluane/Wrangell-St Elias/Glacier Bay/Tatshenshini-Alsek	vii, viii, ix, x
4	Waterton Glacier International Peace Park	vii, ix
5	Mount Wuyi	iii, iv, vii, x
6	Mount Kenya National Park	vii, ix
7	Volcanoes of Kamchatka	vii, viii, ix, x
8	Golden Mountains of Altai	x
9	Western Caucasus	ix, x
10	Kilimanjaro National Park	vii
11	Yellowstone National Park	vii, viii, ix x
12	Hawaii Volcanoes National Park	viii
13	Canaima National Park	vii, viii, ix, x
14	Purnululu National Park	vii, viii
15	The Greater Blue Mountains Area	ix, x
16	Uluru-Kata Tjuta National Park	v, vi, vii, ix
17	Drakensberg Park	i, iii, vii, x
18	Tassili n'Ajjer	i, iii, vii, viii
19	Cliff of Bandiagara(Land of the Dogons)	v, vii
20	Meteora	i, ii, iii, iv, vii
21	Mount Taishan	i, ii, iii, iv, v, vi, vii
22	Jeju volcanic island and lava tubes(Mt. Halla)	vii, viii
23	Volcanoes of Kamchatka	vii, viii, ix, x
24	Nanda Devi National Park	vii, x
25	Sagarmatha National Park	vii
26	Te Wahipounamu-South West New Zealand	vii, viii, ix, x
27	Swiss Alps Jungfrau-Aletsch	vii, viii, ix
28	Xinjiang Tianshan	vii, ix
29	Mount Etna	vii, viii, ix

1) 산세계유산들과의 일반적비교

(1) 금강산은 중생대 화강암을 기반암으로 하고있다.

화강암류암석은 세계륙지화성암로출면적의 20～25%를 차지하는 분포범위가 가장 넓은 심성관입암이며 대륙지각의 주요구성암석이다.

금강산의 기반암은 중생대 화강암으로 되여있다. 따라서 금강산은 기반암이 화강암으로 되여있지 않는 산유산들인 Purnululu National Park(기준 vii, viii, 암석구성 사암-퇴적암), The Greater Blue Mountains Area(기준 ix, x, 암석구성 사암-퇴적암), Canaima National Park(기준 vii, viii, ix, x, 암석구성 규암-변성암), Uluru-Kata Tjuta National Park(기준 v, vi, vii, ix, 암석구성 사암-퇴적암), Drakensberg Park(기준 i, iii, vii, x, 암석구성 사암, 혈암, 현무암-퇴적암, 변성암, 화성암), Tassili n'Ajjer(기준 i, iii, vii, viii, 암석구성 선캄브리아기 암석, 사암-변성암, 퇴적암), Cliff of Bandiagara(Land of the Dogons)(기준 v, vii, 암석구성 선캄브리아기 규암, 사암-변성암, 퇴적암), Meteora(기준 i, ii, iii, iv, vii, 암석구성 사암-퇴적암), Mount Wuyi(기준 iii, iv, vii, x, 암석구성 백악기 사질력암-퇴적암), Mount taishan(기준i, ii, iii, iv, v, vi, vii, 암석구성 각섬암, 편암-변성암) 등과 명백히 차이난다.

(2) 금강산의 지형은 지각의 륭기작용(신생대 지체구조운동)에 의하여 형성되였다.

금강산은 기본적으로 지각의 수직륭기운동과 관련되여 형성되였다. 따라서 금강산은 세계유산목록에 등록된 화산작용에 의하여 형성된 산유산들인 Mount Etna(기준 vii, viii, ix, 성인 화산작용), Hawaii Volcanoes National Park(기준 viii, 성인 화산작용), Mount Kenya National Park(기준 vii, ix, 성인 화산작용), Jeju volcanic island and lava tubes(Mt Halla)(기준 vii, viii, 성인 화산작용), Volcanoes of Kamchatka(기준 vii, viii, ix, x, 성인 화산작용), Western Caucasus(기준 ix, x, 성인 화산작용), Kilimanjaro National Park(기준 vii, 성인 화산작용) 등과 명백히 차이난다.

(3) 금강산은 세계적으로 큰 규모의 산유산에는 속하지 않는다.

금강산은 면적이 25 900ha로서 세계적으로 큰 규모의 산유산에는 속하지 않는다.

따라서 금강산은 세계유산목록에 등록된 큰 규모의 산유산들인 Los Glaciares(기준 vii, viii, 면적 445 900ha), Canadian Rocky Mountain Parks(기준 vii, viii, 면적 2 306 884ha), Kluane/Wrangell-St Elias/Glacier Bay/Tatshenshini-Alsek(기준 vii, viii, ix, x, 면적 9 839 121ha), Waterton Glacier International Peace Park(기준 vii, ix, 면적 457 614ha), Nanda Devi National Park(기준 vii, x, 면적 71 783ha), Sagarmatha National Park(기준 vii, 면적 114 800ha), Te Wahipounamu-South West New Zealand(기준 vii, viii, ix, x, 면적 2 600 000ha), Volcanoes of Kamchatka(기준 vii, viii, ix, x, 면적 3 830 208ha), Golden Mountains of Altay(기준 x, 면적 1 611 457ha), Swiss Alps Jungfrau-Aletsch(기준 vii, viii, ix, 면적 82 388ha), Yellowstone National Park(기준 vii, viii, ix x, 면적 898 349ha), Xinjiang Tianshan(기준 vii, ix, 면적 575 922ha) 등과 명백히 차이난다.

2) 가장 비슷한 산세계유산들과의 비교

금강산의 자연지리적, 지질학적, 자연경관특징을 고려할 때 세계유산목록에서 금강산과 가장 비슷하다고 보는 명산은 황산과 삼청산, 요세미트이다.(표 2)

표 2. 금강산과 가장 비슷한 산유산들과의 일반적대비[2]

No.	유산이름	면적/ha	기반암석	형성원인
1	금강산	25 900	화강암	구조륭기, 빙하작용, 풍화삭박작용, 해식작용
2	황산	15 400	화강암	구조륭기, 빙하작용, 풍화삭박작용
3	삼청산	22 950	화강암	구조륭기, 풍화삭박장용
4	요세미트	308 283	화강암	구조륭기, 빙하작용, 풍화삭박작용

(1) 미학적가치의 비교

중국의 가장 아름다운 산으로 알려진 황산은 중국력사에서 오래동안 예술과 문학을 통하여 잘 알려져있다. 황산은 구름바다우에 솟아오른 수많은 화강암봉우리들과 암석들로 이루어진것으로 하여 독특한 경치를 이루고있다.

황산은 화강암바위와 늙은 소나무와 같은 자기의 훌륭한 자연경치로 잘 알려져있으며 구름과 안개에 의하여 더 매력있다. 황산의 경치에는 자연돌탑, 기암, 폭포, 동굴, 호수, 온천이 포함되는데 이것들은 복잡한 지질작용에 의하여 형성되였다. 황산은 많은 봉우리들로 특색있는데 1 000m이상의 봉우리는 77개이다.

금강산과 황산은 면적과 해발높이, 구성암석, 빙하작용, 구조운동, 륭기작용, 풍화작용 등 여러가지 측면에서 류사성이 많다. 그러나 본질적인 차이도 있다. 가장 큰 차이는 우선 황산은 내륙에 위치하고 금강산은 바다가에 위치하고있는것이다. 이런것으로 하여 금강산은 황산에는 없는 해금강, 총석정과 같은 기묘한 바다경치와 삼일포, 영랑호, 감호와 같은 호수경치를 가지게 되였다.

또한 황산에 수직균렬이 발달하는 곳도 있지만 그로부터 생긴 돌기둥들의 모양이 금강산의 만물상과 같이 다양하지 못하여 만물상으로 불리우지 못한다.

또한 금강산은 대비할수 없을 정도로 많은 기암봉우리들과 무성한 숲, 맑고 푸른 물로 조화로운 색채를 띠고있는데 이것은 그 어느 산유산도 가지고있지 못하는 금강산의 독특한 색채이다. 금강산은 산악과 계곡, 호수와 바다경치를 다같이 가지고있으며 풍부한 동식물상과 깨끗한 생태계와 조화를 이루고있는것으로 하여 가장 아름답고 다양한 자연경치의 모든 요소들을 다 갖추고있다.

특히 계곡마다 흘러넘치는 맑은 계곡수와 가는 곳마다 볼수 있는 장쾌한 폭포들과 아름다운 담소들은 다른 대상들에서 찾아보기 힘든 금강산에만 있는 독특한 풍경이다.

삼청산은 수많은 독특한 모양의 화강암봉우리들과 돌탑들, 화강암과 나무, 구름과 물의 독특한 결합으로 이름났다.

삼청산은 륭기와 풍화, 삭박작용에 의하여 형성된 화강암경관으로 특징지어진다. 수많은 봉우리가 있으며 사람과 짐승모양의 화강암경관들이 있다. 그러나 금강산의 만물상의 기암들과 같이 다양하지 못하다. 그것은 삼청산과는 달리 금강산이 빙하작용을 받아 자연경관이 더욱 이채롭게 다듬어졌기때문이다.

(2) 지질학적가치의 비교

우리 나라의 금강산과 황산, 삼청산, 요세미트는 다같이 중생대 백악기 화강암관입암체로 이루어진 산으로서 화강암경관을 이루고있다는데서 비슷한 점이 있다.

삼청산은 빙하작용을 받지 못하였으며 대륙충돌작용의 영향을 받았다. 삼청산은 대륙충돌과 관련된 륭기와 풍화삭박작용에 의하여 형성되였다. 황산과 요세미트는 대륙내부에 위

치하면서 백악기에 화강암관입작용이 있은 다음 빙하의 영향도 같이 받아 현재의 지형을 이루었다. 하지만 금강산은 중생대 백악기에 화강암관입작용이 있은 다음 주로 신생대 경동지괴운동에 의하여 형성되였으며 제4기 빙하작용을 받아 현재의 특이한 화강암경관을 이루게 되였다.

금강산은 제4기 빙하작용을 받은것으로 하여 전지구적인 빙하기와 간빙기의 기후 및 지형발전과정을 반영한다.

이로부터 금강산은 동아시아의 태평양연안에서 신기구조운동과 제4기 빙하작용을 반영하는 특출한 실례로 된다.

맺 는 말

금강산은 자연유산가치에 대한 평가에 따르면 세계자연유산등록을 위한 기준 vii과 viii에 부합된다.

총체적으로 금강산은 미학적 및 지질학적으로 특출한 세계적가치를 가지는 자연유산이다.

참 고 문 헌

[1] Preparing World Heritage Nominations, 2, IUCN 150～200, 2011.
[2] The World Heritage List, IUCN, 5～30, 2016.
[3] Xiong Kangning et al.; Guizhou Normal University Paper, 10, 4, 17, 2008.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

Natural World Heritage Value of Mt. Kumgang and Comparative Analysis

Jon Won Sok, Ri Mu IL

According to the analysis of the natural heritage values, Mt. Kumgang meets criteria vii and criteria viii of the natural world heritage.

Generally Mt. Kumgang is a natural heritage that have outstanding universal value on the aesthetic and geological value.

Key words: Mt. Kumgang, universal value, natural heritage

김일성종합대학학보 주체108(2019)년
지구환경과학 및 지질학 제65권 제4호

금강산지구에서 찾은 초생달모양틈의 특징과 성인

량도준, 최일청, 전원석

금강산에는 제4기에 있은 빙하작용에 의하여 생긴 여러가지 빙하흔적들이 남아있는데 이것은 제4기 빙하에 대한 연구와 금강산의 형성과정을 과학적으로 밝히는데서 귀중한 자료로 된다.

빙하조선과 륵골구조는 빙하가 이동하면서 이동방향으로 생긴 흔적으로서 빙하의 이동방향과 같은 방향으로 나있다. 그러나 그것들과는 달리 빙하의 이동방향에 수직으로 생긴 틈들도 있는데 이것들은 보통 초생달모양으로 구부러져있기때문에 초생달모양틈이라고 한다.[1]

초생달모양틈은 빙하바닥에 들어있는 암석쪼각들에 의하여 생긴다. 초생달모양틈의 길이는 보통 수cm～수m이다.

초생달모양틈에는 여러가지가 있는데 빙하의 흐름방향으로 볼록한 모양의 틈과 빙하의 흐름방향으로 오목한 모양의 틈이 있다.[2, 3]

론문에서는 금강산에서 빙하흔적에 대한 조사를 진행하는 과정에 찾아낸 초생달모양틈의 특징과 성인에 대하여 서술하였다.

1. 초생달모양틈의 특징

우리는 최근 빙하의 흐름방향으로 오목한 모양의 틈들을 금강산 만폭동계곡의 흑룡담으로부터 선담에 이르는 수백m 구간의 계곡바닥과 전석들에서 찾아냈다.

만폭동계곡바닥암석에 생긴 초생달모양틈은 그림 1과 같다.



그림 1. 만폭동계곡바닥암석에 생긴 초생달모양틈

이 틈들은 계곡바닥의 담회색중립화강암결면에 생기였는데 크기와 방향은 각이하게 나타나지만 총체적으로는 빙하의 이동방향에 수직이다.

이와 같은 틈들은 이밖에도 금강산지구의 명경대구역, 만물상구역, 옥류동구역 등의 계곡바닥과 측벽들에서도 찾아볼수 있다.

초생달모양틈들의 특징은 다음과 같다.

첫째로, 금강산지구의 초생달모양틈들은 빙하에 의하여 생긴 기타 다른 흔적들과 동시에 나타난다는것이다. 초생달모양틈들은 언제나 빙하에 의하여 매끈하게 다듬어진 빙하바닥암석결면에 나있으며 이 틈들에 수직인 방향으로는 빙하조선들이 있다. 지어 일부 경우에는 륵골구조도 동시에 나타난다.

만폭동계곡바닥의 빙하흔적은 그림 2와 같다.

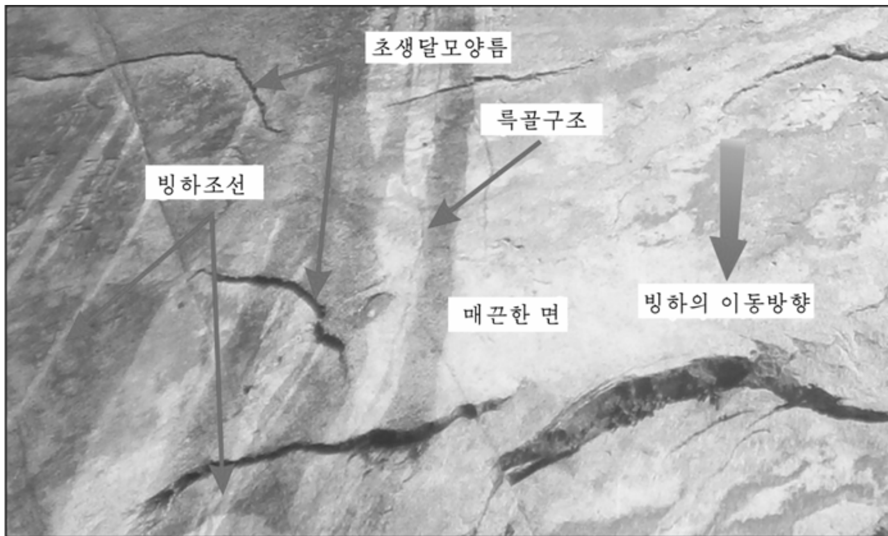


그림 2. 만폭동계곡바닥의 빙하흔적

그림 2에서 보는바와 같이 만폭동계곡바닥의 빙하흔적과 함께 초생달모양틈, 매끈한 면, 빙하조선, 특골구조들이 동시에 나타난다. 이와 같은 현상은 매우 보편적으로 나타난다.

이처럼 초생달모양틈들은 흔히 빙하에 의한 다른 흔적들과 함께 기반암겉면에 발달한다. 이것들은 빙하의 침식작용과 특징을 연구하는데서 좋은 자료로 된다.

둘째로, 금강산지구의 초생달모양틈들은 기반암겉면가까이의 얕은 부위에서만 발달하고 깊이 연장되지 않는다는것이다. 만폭동계곡바닥에서 관찰한 초생달모양틈들의 발달깊이는 보통 수mm～수cm정도이며 최대깊이는 10여cm를 넘지 않는다.

셋째로, 금강산지구의 초생달모양틈들의 깊이는 가운데서는 깊고 량쪽 끝으로 가면서 점차 얕아지며 너비도 가운데서는 넓고 량쪽 끝으로 가면서 점차 좁아지다가 없어진다는것이다.(그림 1)

초생달모양틈들가운데서 규모가 비교적 큰 초생달모양틈은 중심부의 깊이가 약 20cm이고 길이가 1m이상이며 규모가 작은것은 깊이가 수mm정도이고 길이는 약 5cm정도이다. 이 초생달모양틈들의 볼록한 방향은 빙하이동방향과 반대방향을 나타낸다.

넷째로, 초생달모양틈의 면들은 매끈하게 다듬어진 빙하바닥암석겉면과 일정한 각도로 사귀면서 발달하는데 어떤것들은 암석겉면의 얇은 쪼각들이 떨어져나가면서 계단모양을 나타내는것이다.(그림 2) 초생달모양틈에서 계단들의 방향은 언제나 계곡의 하류쪽 즉 빙하의 이동방향을 나타낸다.

다섯째로, 매개의 초생달모양틈들은 빙하의 이동방향에 수직이면서 초생달모양으로 휘여져있는데 오목한 방향은 빙하의 이동방향을 나타내는것이다. 그러나 금강산지구에서 찾아낸 오목한 방향이 빙하의 이동방향을 나타내는 초생달모양틈들과는 달리 볼록한 방향이 빙하의 이동방향을 나타내는 초생달모양틈들도 있다. 실례로 남극빙하의 삭박에 의하여 형성된 가로틈(그림 3의 ㄱ)과 북아메리카의 제4기 빙하에 의하여 형성된 가로틈(그림 3의 ㄴ), 알라스카빙하에 의하여 형성된 초생달모양틈(그림 3의 ㄷ) 등을 들수 있다.[3]

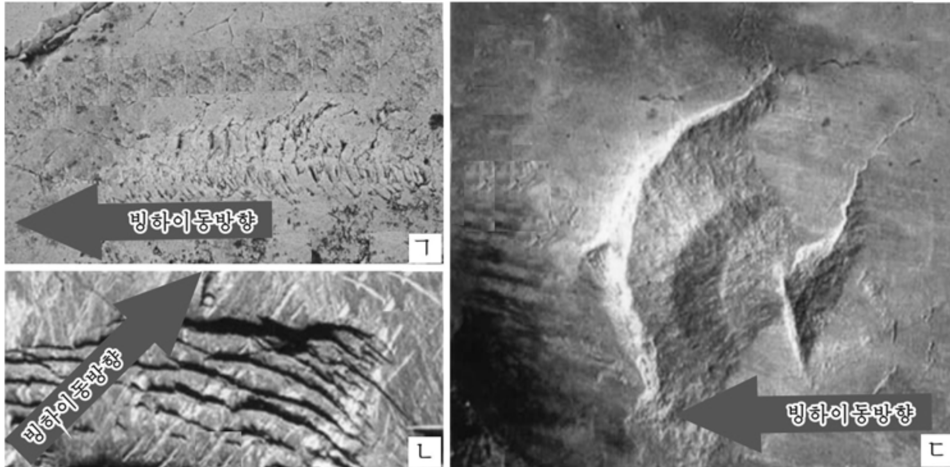


그림 3. 빙하의 흐름방향으로 볼록한 모양의 틈
ㄱ, ㄴ—가로틈, ㄷ—초생달모양틈

그림 3에서 보는 초생달모양틈들은 빙하이동방향에 수직이며 그것들의 볼록한 방향이 빙하이동방향을 나타낸다는것을 명백히 보여준다.

2. 초생달모양틈의 성인

초생달모양틈들의 형성물림새를 해석하는데 자름파렬리론을 리용하였다.

현재 세계적으로 초생달모양틈을 빙하삭박작용의 직접적인 증거물로 보고있지만 리론적으로는 아직 깊이 연구되지 못하였다.

론문에서는 초생달모양틈들은 본질상 주자름면에 수반되여 발달하는 파렬로서 *R*자름면과 *P*자름면에 대응된다고 보았다.(그림 4)

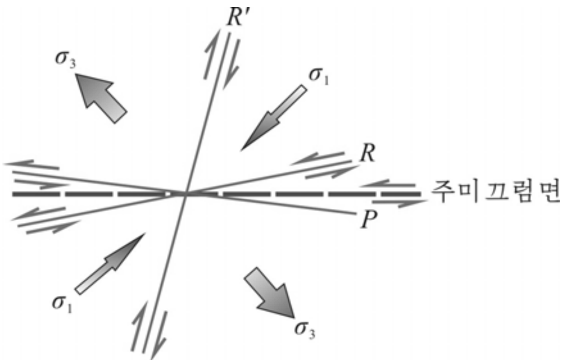


그림 4. 주향미끄럼대의 수반구조
R—자름면, *R′*—*R*면의 공액자름면, *P*—자름면,
σ_1—주압축응력, σ_3—주당김응력

*R*자름면과 *P*자름면은 주자름면과 일반적으로 작은 각도로 사귀며 자름이동방향은 모두 서로 같다. 때문에 *R*면과 *P*면에 의하여 주자름면의 이동방향을 판단할수 있다.

자름면으로부터 보면 기반암의 걸면은 주향미끄럼대의 주미끄럼면에 해당되고 초생달모양틈은 기러기떼모양으로 배렬된 *R*자름면과 *P*자름면으로 되는데 그것들의 방향은 빙하의 상대적인 이동방향을 나타낸다.(그림 5)

그림 5에서 보는바와 같이 초생달모양틈이 *R*자름면을 따라 생기는 경우에는 볼록한 방향이 빙하의 이동방향으로 되며 *P*자름면을 따라 생기는 경우에는 오목한 방향이 빙하의 이동방향으로 된다.

이와 같이 초생달모양틈들은 빙하삭박작용의 직접적인 증거물로 될뿐아니라 빙하의 이동방향도 나타낼수 있다.

초생달모양틈은 빙하밑부분에서 크기가 각이한 암석쪼각들과 기반암사이의 마찰에 의

하여 생기는 균렬이기때문에 마찰점에서 먼저 생긴 다음 그것을 중심으로 하여 전진방향과 암석내부로 동시에 확대되면서 호모양으로 형성된다. 그러므로 초생달모양틈의 각이한 부위에서는 암석내부로 연장되는 깊이가 서로 다르다. 즉 초생달모양틈의 중간에서는 깊이가 깊고 량쪽으로 가면서 깊이가 점차 얕아지다가 없어진다.

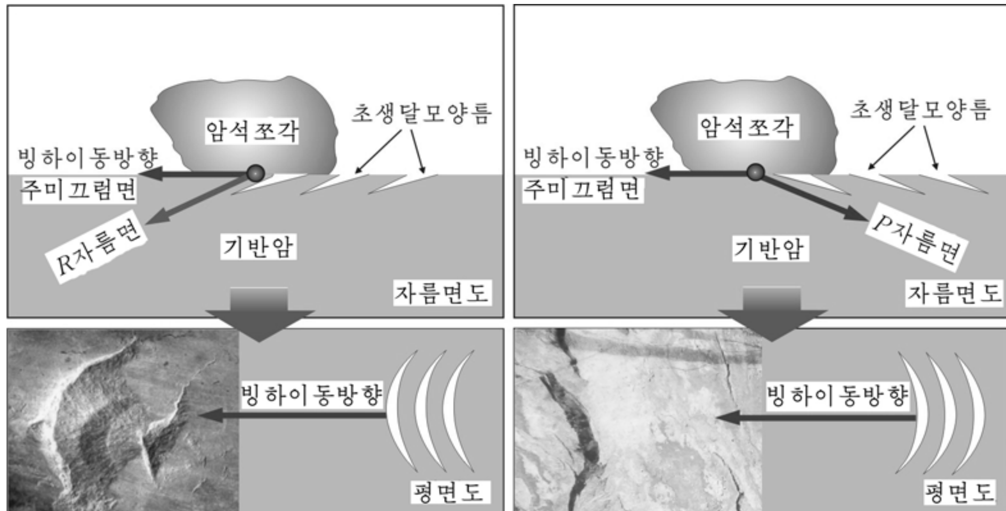


그림 5. 두가지 류형 초생달모양틈의 형성모식도
ㄱ) 빙하이동방향으로 볼록한 초생달모양틈,
ㄴ) 빙하이동방향으로 오목한 초생달모양틈

초생달모양틈들의 류형에 따라 변형상태와 삭박상태가 서로 차이난다. 빙하의 이동방향으로 볼록한 초생달모양틈에서는 암석이 잘 떨어져나가지 않고 패인형태로 나타나지만 빙하의 이동방향으로 오목한 초생달모양틈에서는 암석이 떨어져나가면서 계단모양으로 나타나는 것이 특징이다.

빙하침식면우에는 빙하미끄럼방향을 지시하는 빙하조선이나 륵골구조와 같은 긁힌 자리가 있는데 만일 풍화작용이 세게 진행되면 이 긁힌 흔적은 없어지지만 초생달모양틈은 기반암안으로 일정한 깊이까지 연장되기때문에 남아있게 된다. 때문에 초생달모양틈은 빙하의 이동방향을 나타낼뿐아니라 빙하에 의한 침식작용정도를 반영하는 중요한 증거물로도 된다. 그러나 지금까지 우리 나라에서는 초생달모양틈에 대하여 연구된것이 없다.

우리 나라에 제4기 빙하가 있었는가 없었는가 하는 문제는 지난 수십년동안 론쟁하여왔으며 오늘까지도 계속되고있다. 때문에 중요한 빙하흔적의 하나인 초생달모양틈의 발견은 우리 나라에서 제4기 빙하가 존재하였다는것을 증명하는데서 중요한 의의를 가진다.

맺 는 말

1) 금강산지구에서 새로 찾은 초생달모양틈들은 빙하의 이동방향에 수직이며 오목한 방향은 빙하의 이동방향을 나타낸다.

2) 초생달모양틈들은 빙체와 기반암사이의 쓸림에 의하여 형성되는데 주향미끄럼대의 수반파렬면들인 *R*자름면과 *P*자름면에 해당된다.

참 고 문 헌

[1] M. Denis et al.; Africa Geoscience Review, 13, 1, 145, 2006.
[2] R. J. Huggett; Fundamentals of Geomorphology, Routledge, 271～312, 2017.
[3] 吕洪波 等; 地质学报, 86, 3, 514, 2012.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

The Feature and Genesis of Crescentic Gouges Found in the Mt. Kumgang Region

Ryang To Jun, *Choe Il Chong* and *Jon Won Sok*

The crescentic gouges found in the Mt. Kumgang region is perpendicular to the moving direction of the overlying ice, and the concave direction is the moving direction of ice.

Also the crescentic gouges formed by friction between glacial ice and bedrock are a series of en echelon R－shear fracture and P−shear fracture on the bedrock surface.

Key words: Mt. Kumgang region, crescentic gouges

주체108(2019)년 차례묶음

제１호

제2호

제3호

제4호

JOURNAL OF **KIM IL SUNG** UNIVERSITY JUCHE 108(2019)
Geoenvironmental Science and Geology Vol. 65

Juche 108(2019)－Arrangement Bundle

Number 1

Number 2

Number 3

Number 4

JOURNAL OF
KIM IL SUNG UNIVERSITY
Geoenvironmental Science and Geology

Vol. 65 No. 4
JUCHE 108(2019)
(SN 580)

CONTENTS

Issued by
PUBLISHING HOUSE OF **KIM IL SUNG** UNIVERSITY

김일성종합대학학보
지구환경과학 및 지질학

주체108(2019)년 제65권 제4호
(루계 제580호)

편 집 위 원 회

낸 곳 김일성종합대학출판사
인쇄소 김일성종합대학인쇄공장
인쇄 주체108(2019)년 11월 30일 발행 주체108(2019)년 12월 10일

ㄱ－1972362 값 200원

DPR Korea
Address: Ryongnam-dong, Ryomyong Street,
Taesong District, Pyongyang
E-mail: ryongnamsan@star-co.net.kp
Fax: 0085-02-381-4410, 0085-02-381-4427

정기간행물번호
제19924호